




## Accurate interactive acoustic plate

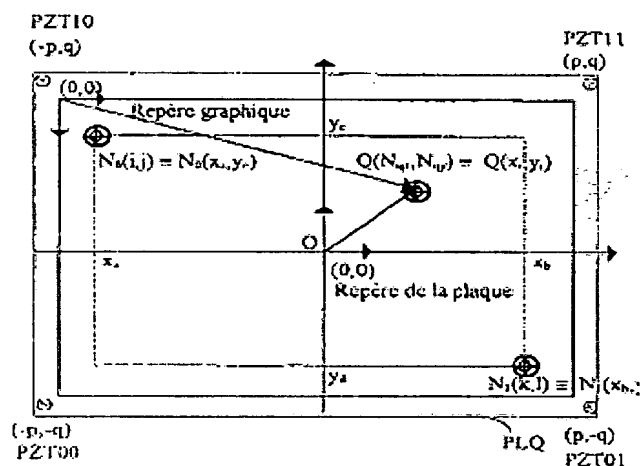
**Patent number:** FR2811107  
**Publication date:** 2002-01-04  
**Inventor:** NIKOLOVSKI JEAN PIERRE; DEVICE FABRICE  
**Applicant:** NIKOLOVSKI JEAN PIERRE (FR)  
**Classification:**  
 - international: G06K11/14; G01B17/00; G06K11/18  
 - european: G06F3/033Z4A2  
**Application number:** FR20000008372 20000629  
**Priority number(s):** FR20000008372 20000629

Also published as:

 WO0201490 (A1)  
 WO0201490 (A1)  
 US2003066692 (A)

### Abstract of FR2811107

The invention concerns a device for acquiring the position co-ordinates of a source of mechanical waves optionally generated by impacting the surface of a plate (PLQ) of finite dimensions comprising a set of acoustic sensors (PZT00 to PZT11) each formed by a pair of piezoelectric transducers (PZTa, PZTb) facing each other on either side of the plate, the device including processing means for determining the co-ordinates of the source by analysing the difference in propagation time of the acoustic waves generated by the source to the different sensors. Said device is characterised in that the processing means comprise combined with each sensor (PZT00 to PZT 11) a respective electronic circuit including means mounted in cascade for digitizing the amplified signal around a predetermined frequency, associated with means for limiting the digitization to a time window starting before the acoustic waves reach a sensor and ending when the acoustic waves have reached said sensor.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

⑪ N° de publication :

2 811 107

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

② N° d'enregistrement national :

00 08372

⑤ Int Cl<sup>7</sup> : G 06 K 11/14, G 01 B 17/00, G 06 K 11/18

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

② Date de dépôt : 29.06.00.

③ Priorité :

④ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 04.01.02 Bulletin 02/01.

⑤ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦ Demandeur(s) : NIKOLOVSKI JEAN PIERRE — FR et  
DEVIGE FABRICE — FR.

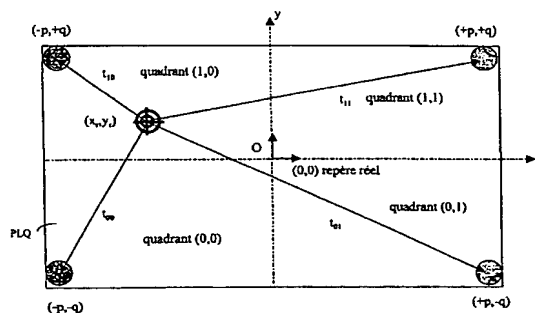
⑦ Inventeur(s) : NIKOLOVSKI JEAN PIERRE et  
DEVIGE FABRICE.

⑦ Titulaire(s) :

⑦ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤ PLAQUE ACOUSTIQUE INTERACTIVE DE PRECISION.

⑦ L'invention concerne un dispositif d'acquisition des coordonnées de position d'une source d'ondes mécaniques engendrées éventuellement par un impact à la surface d'une plaque (PLQ) de dimensions finies comprenant un ensemble de capteurs acoustiques (PZT00 à PZT11) formés chacun d'une paire de transducteurs piézoélectriques (PZ-Ta, PZTb) situés en vis à vis de part et d'autre de la plaque, le dispositif comprenant des moyens de traitement pour déterminer les coordonnées de la source par l'analyse de la différence de temps de propagation des ondes acoustiques engendrées par la source vers les différents capteurs, dispositif caractérisé en ce que, les moyens de traitement comprennent en association avec chaque capteur (PZT00 à PZT11) un circuit électronique respectif comprenant en cascade des moyens pour numériser le signal amplifié autour d'une fréquence prédéterminée, associés à des moyens pour limiter la numérisation à une fenêtre temporelle débutant avant l'arrivée des ondes acoustiques sur un capteur et se terminant après l'arrivée des ondes acoustiques sur le dit capteur.



FR 2 811 107 - A1



La présente invention a trait de manière générale aux dispositifs de communication interactive entre un utilisateur et une machine.

Plus précisément, l'invention concerne un dispositif de recueil et de traitement d'ondes acoustiques transmises par un utilisateur ou un capteur à une plaque servant d'interface avec  
5 une machine, le dit dispositif analysant les temps de propagation des ondes acoustiques dans la plaque notamment pour mesurer les coordonnées  $x, y$ , d'impacts à la surface de la plaque.

On connaît par le brevet wo96/11378 un dispositif d'acquisition de coordonnées  $x, y$ , du point d'une plaque rigide duquel une source émet ponctuellement des paquets d'ondes, par analyse du temps de propagation des ondes dans la plaque dans deux directions  $x$  et  $y$  de la plaque.

10 On connaît aussi par le brevet français 9816229 du 22 décembre 1998 un dispositif d'acquisition où deux paires de transducteurs sont associées respectivement à chaque direction  $x, y$ , la position de la source selon chaque direction étant déterminée par la mesure du différentiel des temps d'arrivée des paquets d'ondes sur les deux paires de transducteurs respectives de ladite direction.

15 Ces deux dispositifs d'acquisition sont particulièrement bien adaptés à la détection sélective d'un mode acoustique de Lamb dans une plaque de verre isotrope. En particulier le dispositif du brevet 9816229 propose un procédé de quantification de l'intensité d'un impact lui permettant d'atteindre une précision de 1% sur la mesure de position. La présente invention montre comment améliorer encore ce résultat, ce qui s'avère nécessaire si l'on veut pouvoir  
20 pointer de façon fiable des zones de la taille de un centimètre carré sur une plaque de quatre à dix mètres carrés. En outre, les dispositifs décrits dans les brevets cités ci-dessus sont peu fiables lorsque la plaque est un verre feuilleté c'est à dire est un assemblage de deux vitrages ou plus, simples ou recuits ou trempés, collés intimement entre eux par l'interposition d'un ou plusieurs films polymère tel le butyral de polyvinyle. Pour des raisons de sécurité, l'utilisation  
25 de verres feuilletés est une condition de plus en plus souvent exigée en milieu public. En cas de bris, le polymère constitue une armature sur laquelle les éclats de verre restent collés ce qui permet au verre feuilleté d'assurer une protection résiduelle avant le remplacement.

L'utilisation de verre feuilleté pour la réalisation de dalles acoustiques fonctionnant sur le principe de la localisation d'impacts par mesure du temps de propagation de modes de plaque  
30 ultrasonores nécessite une amélioration des dispositifs décrits dans les brevets précédents.

Le but de la présente invention est ainsi d'améliorer la qualité et la fiabilité de la réception des ondes acoustiques dans un dispositif adapté à la fois aux plaques simples isotropes ou

feuilletées. En particulier, l'invention montrera comment améliorer la précision de la mesure en rendant celle-ci encore plus indépendante de l'intensité du choc.

Un autre but de la présente invention est d'améliorer également l'ergonomie du dispositif notamment par un étalonnage automatisé de la plaque permettant de prendre en compte les effets de la température sur la vitesse de propagation des ondes acoustiques et donc sur la précision ainsi que par l'établissement d'une correspondance homothétique plus simple et plus rapide entre les coordonnées réelles d'un impact sur la plaque et les coordonnées écran d'une interface graphique projetée directement sur la plaque à l'aide d'un vidéo projecteur, la taille de la dite interface graphique pouvant varier rapidement en fonction d'un déplacement voulu ou accidentel du vidéo projecteur.

L'invention vise aussi à améliorer les moyens de communication mis à la disposition de l'utilisateur afin d'émuler selon le principe de l'activation par un impact, le fonctionnement d'un pointeur de type souris ou d'un clavier alphanumérique nécessaires à la recherche d'informations sur Internet.

L'invention montre enfin comment masquer les bruits d'impacts sur la vitrine par un procédé de superposition d'un son synthétisé au son issu d'un impact.

Pour atteindre ces buts, l'invention propose un dispositif d'acquisition de coordonnées de points d'interaction d'une source acoustique avec la surface de la plaque, éventuellement feuilletées, de dimensions finies, comprenant un ensemble de capteurs acoustiques formés chacun d'une paire de transducteurs piézoélectriques situés en vis-à-vis de part et d'autre de la plaque, le dispositif comprenant des moyens de traitement pour déterminer les coordonnées dudit point d'interaction par l'analyse de la différence de temps de propagation des ondes acoustiques émises par la source vers les différents capteurs, dispositif caractérisé en ce que les moyens de traitement comprennent en association avec chaque capteur un circuit électronique respectif comprenant en cascade des moyens pour effectuer une pré amplification large bande, des moyens d'amplification sélective centrée sur une première fréquence déterminée, des moyens de détection de la tête du paquet d'ondes et d'échantillonnage du signal sur une fenêtre temporelle englobant la tête du paquet d'ondes ainsi que des moyens pour commuter les capteurs en émetteur ou en récepteur afin de déterminer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores ou bien réaliser un contrôle d'intégrité de la plaque, ainsi

que des moyens pour étalonner le système d'acquisition de façon automatisée et donc simple pour l'utilisateur.

Des aspects préférés mais non limitatifs du dispositif selon l'invention sont les suivants :

- 5       - Les capteurs sont au nombre de quatre et les transducteurs piézoélectriques de chaque capteur sont des disques de céramiques piézoélectriques collés de part et d'autre de la plaque, de manière à ce que quatre capteurs forment les sommets d'un rectangle dont le centre constitue l'origine des coordonnées,
- 10       - Le rectangle défini par les capteurs est divisé en quatre quadrants, chaque quadrant étant associé à un triplet de capteurs les plus proches du centre du quadrant chargé de la détection des coordonnées d'un impact dans ce quadrant avec une précision de mesure meilleure que celle qui serait obtenue avec les autres triplets,
- 15       - Les disques céramiques piézoélectriques ont un retour d'argenture permettant de réaliser les connexions électriques sur la même face du disque,
- Les céramiques piézoélectriques sont de type ferroélectrique,
- 20       - Le retour d'argenture est de préférence à symétrie cylindrique. Lorsque le retour d'argenture ne respecte pas la symétrie cylindrique, il est positionné de façon à ce que le capteur ait une sensibilité la plus omnidirectionnelle possible,
- Les connexions électriques des deux transducteurs piézoélectriques de chaque capteur sont reliées en parallèle, les vecteurs polarisation étant montés symétriquement par rapport au plan médian de la plaque de façon à ce que les modes antisymétriques, plus lents, soient discriminés et les modes symétriques, plus rapides, privilégiés,
- 25       - La localisation d'un point d'impact avec un verre feuilleté constitué d'un assemblage de 2 plaques identiques, chacune d'épaisseur  $e$ , liées l'une à l'autre par un film polymère, consiste à extraire la composante fréquentielle ultrasonore  $f_c$  satisfaisant à la règle :  $f_c \cdot e = 1,2 \text{ MHz.mm}$ , la dite fréquence étant engendrée par l'impact d'un objet dur tel que le plat de l'ongle d'un doigt, une clef métallique, une baguette en matière plastique dur,
- 30       - La localisation d'un point d'impact sur une plaque dans un des quatre quadrants défini par le couple de bits  $(g_y, g_x)$  consiste à mesurer la différence des temps de vol entre deux capteurs, pris parmi un triplet de capteurs, définissant une première direction et deux capteurs, pris parmi le même triplet de capteurs, définissant une

deuxième direction perpendiculaire à la première, de sorte que les coordonnées cartésiennes du point d'impact  $(x_r, y_r)$  sur la plaque soient données par la formule :

$$x_r = (-1)^{n_x} \frac{\Delta t_{xy} \left( q \sqrt{p^2 v^2 (4 p^2 - v^2 \Delta t_{xy}^2) (4 p^2 + 4 q^2 - v^2 (\Delta t_{xy} - \Delta t_{yg})^2)} \Delta t_{yg}^2 (4 q^2 - v^2 \Delta t_{yg}^2) + p^2 v^2 \Delta t_{yg}^2 (-4 q^2 - v^2 \Delta t_{yg} (-\Delta t_{xy} - \Delta t_{yg})) \right)}{4 p \Delta t_{yg} (q^2 v^2 \Delta t_{xy}^2 + p^2 (-4 q^2 + v^2 \Delta t_{yg}^2))}$$

$$y_r = (-1)^{n_y} \frac{q v^2 \Delta t_{xy} (-4 p^2 + v^2 \Delta t_{xy} (\Delta t_{xy} - \Delta t_{yg})) \Delta t_{yg} + \sqrt{p^2 v^2 (4 p^2 - v^2 \Delta t_{xy}^2) (4 p^2 + 4 q^2 - v^2 (\Delta t_{xy} - \Delta t_{yg})^2)} \Delta t_{yg}^2 (4 q^2 - v^2 \Delta t_{yg}^2)}{4 (q^2 v^2 \Delta t_{xy}^2 + p^2 (-4 q^2 + v^2 \Delta t_{yg}^2))}$$

- 5        - Où, p et q sont des nombres positifs représentant respectivement l'abscisse et l'ordonnée de la position des capteurs par rapport au centre du rectangle défini par les capteurs, v la célérité du mode de plaque détecté, c'est-à-dire, pour un verre feuilleté, celle du mode le plus rapide,  $\Delta t_{xg}$ , (respectivement  $\Delta t_{yg}$ ) la différence des temps de propagation du paquet d'ondes engendré par l'impact, entre les capteurs
- 10       de la première paire située dans le demi-rectangle  $g_x$  (respectivement de la deuxième paire située dans le demi rectangle  $g_y$ ),
- La détermination du triplet de capteurs associé à un impact donné s'effectue selon un algorithme recherchant la plus grande différence de temps de vol disponible entre les capteurs dans deux directions perpendiculaires,
- 15       - Lesdits circuits électroniques associés aux capteurs comprennent en cascade un étage préamplificateur large bande, un étage amplificateur sélectif dans la bande ultrasonore, un étage éleveur au carré, un étage détecteur de crête, un étage intégrateur, un étage d'adaptation à un niveau logique constituant un signal de synchronisation « SYNC » destiné d'une part au calcul approximatif de la position
- 20       d'un impact, d'autre part à commander l'arrêt de l'enregistrement numérique du signal associé au capteur, d'autre part au démarrage de la procédure d'enrichissement sonore, décrite ci-après,
- Les circuits électroniques associés aux capteurs respectifs comprennent en aval desdits moyens d'amplification sélective, des convertisseurs analogiques
- 25       numériques synchrones associés à des mémoires FIFO (premier entré-premier sorti) de profondeur suffisante pour numériser l'équivalent de plusieurs périodes acoustiques de la fréquence sélectionnée, de façon à disposer d'un enregistrement numérique débutant avant l'arrivée la tête du paquet d'ondes, la dite numérisation du signal étant caractérisée par une fréquence d'échantillonnage d'au moins
- 30       1 MHz,

- La différence des temps de vol entre les capteurs est déduite, d'une part, des intervalles de temps entre les signaux de synchronisation, d'autre part, des intervalles de temps séparant les signaux de synchronisation des têtes des paquets d'ondes,
- 5 - Les circuits électroniques associés aux capteurs respectifs comprennent en amont desdits moyens d'amplification sélective une dérivation vers des moyens de numérisation, d'analyse et d'enrichissement fréquentiel du signal acoustique audible engendré par l'impact sur la plaque, ainsi que des moyens pour reconvertir le signal numérique enrichi en signal analogique et l'envoyer sur des haut-parleurs
- 10 de façon à masquer la gêne occasionnée par l'impact sous la forme d'un son plus agréable reproduisant par exemple le bruit d'un instrument de percussion au sein d'une composition symphonique, ou le bruit d'un animal ou d'un événement naturel, lesdits moyens d'enrichissement étant mis en œuvre à l'instant même où le premier des quatre signaux de synchronisation est activé,
- 15 - La mesure de l'intervalle de temps séparant un signal de synchronisation de la tête du paquet d'ondes associé consiste à déterminer les instants de passage à zéro du signal numérisé en remontant dans le temps à partir de l'instant de commutation défini par SYNC, tandis qu'un test sur la somme des amplitudes entre les passages à zéro, c'est à dire un test sur la valeur moyenne du signal par demi-période,
- 20 décide de la poursuite de l'algorithme. Lorsque la valeur moyenne sur une demi-période est égale à la valeur de sortie de l'échantillonneur en l'absence de signal, à un écart seuil près, l'algorithme est arrêté, et la valeur moyenne est considérée comme étant l'instant origine  $t_{HD}$  du paquet,
- L'un au moins des capteurs est apte à être commuté en émetteur d'un paquet
- 25 d'ondes ultrasonore détecté par les autres capteurs dont les positions sont connues afin, d'une part, de mesurer de façon automatisée la vitesse de propagation des ultrasons, dépendante de la température, d'autre part, de déclencher un test d'intégrité de la plaque, par mesure de la différence de temps de propagation du paquet d'ondes entre les différents capteurs,
- 30 - La gestion de toutes les étapes de mesure, de traitement et de transfert des données par une interface de communication série, soit à un afficheur LCD, soit à une interface pour instruments de musique (interface MIDI), soit à un calculateur plus

puissant tel un micro ordinateur via son port RS232 ou USB est régie par un microcontrôleur,

- 5                   - Le dispositif constitue une interface périphérique avec une machine qui reçoit les signaux issus des moyens de traitement et qui en fonction des dits signaux commande l'exécution de fichiers contenus dans l'ordinateur par divers périphériques de types connus reliés à l'ordinateur tels que par exemple de manière non limitative un projecteur vidéo, des sources lumineuses, des haut-parleurs, une imprimante, ou encore un boîtier d'automatismes commandant une action mécanique comme la fermeture d'un rideau de protection,
- 10                  - Le système dispose de moyens logiciels pour émuler le fonctionnement d'un autre périphérique tel un pointeur de type souris ou un clavier et constitue une interface périphérique avec ordinateur qui commande en fonction des signaux issus des moyens de traitement l'exécution de fichiers contenus dans l'ordinateur ou, via un modem ou une carte réseau, l'exécution de fichiers contenus à distance sur un
- 15                  serveur,
- L'ordinateur est associé à un écran plat de grandes dimensions ou, mieux, à un vidéo projecteur informatique projetant sur une portion appelée zone écran de la surface de la plaque dont l'une des faces au moins est en verre dépoli, les informations disponibles depuis un portail Internet,
- 20                  - Le dépolissage de la surface peut être remplacé par la pose d'un film diffusant, éventuellement en combinaison avec une lentille de Fresnel jouant le rôle de loupe directionnelle, c'est à dire de concentrateur directionnel de lumière permettant d'utiliser l'interface graphique, même en plein jour,
- Le dispositif dispose de moyens logiciels permettant de faire apparaître, réduire ou
- 25                  déplacer un clavier sur la zone écran,
- Le dispositif dispose de moyens logiciels permettant d'établir de façon automatisée rapide et simplifiée une correspondance homothétique entre les coordonnées réelles physiques en millimètres d'un impact et les coordonnées graphiques en pixels de cet impact lorsqu'il est produit à l'intérieur de la zone graphique. Les
- 30                  axes des systèmes de coordonnées graphique et réel sont parallèles et les dits moyens logiciels font intervenir les opérations suivantes :



- Affichage par le logiciel d'une cible en diverses positions de coordonnées graphiques connues et mesure des coordonnées réelles correspondantes. Par exemple, une première cible est affichée en  $N_0(i,j)$  où  $i$  et  $j$  sont des coordonnées écran, prêt de l'origine écran. Cette cible s'affiche sur la plaque acoustique aux coordonnées réelles  $N_0(x_a, y_c)$ . Un impact réalisé à l'endroit où apparaît la cible permet de recueillir ces coordonnées réelles via la carte d'acquisition. Une deuxième cible de coordonnées écran  $N_1(k,l)$  est affichée ensuite prêt des coordonnées maximales de l'écran. Les coordonnées réelles correspondantes  $N_1(x_b, y_d)$  sont obtenues par un impact en regard de la cible.

- Les coordonnées graphiques ( $N_{qx}, N_{qy}$ ) d'un point quelconque  $Q$  de coordonnées réelles ( $x_r, y_r$ ) peuvent alors être déduites de la formule :

$$\begin{cases} N_{qx} = i + (k-i) \frac{(x_r - x_a)}{(x_b - x_a)} \\ N_{qy} = j + (l-j) \frac{(y_r - y_d)}{(y_c - y_d)} \end{cases}$$

- Une cible de référence est affichée une dernière fois au centre de l'écran graphique. L'impact réalisé en regard de la cible est converti en coordonnées écran selon la formule ci-dessus. La position calculée est comparée à la position de référence. Si l'écart est inférieur à un certain seuil, l'opération d'étalonnage est validée. Sinon elle est reconduite.

- Le dispositif dispose de moyens logiciels pour que la portion de la plaque qui ne sert pas d'écran soit tout de même interactive et soit configurée comme une extension de la zone écran, en particulier un impact réalisé à gauche (respectivement, à droite, au-dessus, au-dessous) de la zone écran déplace le contenu de l'écran vers la droite (respectivement à gauche, au-dessous, au-dessus), permettant ainsi de lire un document de taille bien supérieure à la taille de la zone écran,
- Le dispositif dispose de moyens logiciels pour que la portion de la plaque qui sert d'écran soit considérée comme une zone spéciale permettant de quitter ou commuter de toute application logicielle gestionnaire de l'exécution de groupes de programmes associés à diverses zones de la plaque situées hors écran.

- Inversement, le système dispose de moyens logiciels pour que tout impact réalisé sur la plaque en dehors de la zone écran soit associé à l'exécution d'une application choisie, gestionnaire de l'espace de travail situé hors écran, comme par exemple l'application où, à partir de la correspondance homothétique établie entre les pixels d'une photo numérique de la plaque acoustique et les coordonnées physiques de ces pixels sur la plaque acoustique, des groupes de programmes sont exécutés à la suite d'un impact sur une zone donnée de la plaque.

D'autres aspects but et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

La figure 1 est une vue schématique d'une plaque rectangulaire donnant l'emplacement et les coordonnées des capteurs, les repères réel et graphique définis, ainsi que les coordonnées réelles et graphiques de trois impacts sur la plaque.

La figure 2-a est une saisie écran d'une fenêtre de dialogue permettant de configurer l'interface graphique et de définir la zone autorisée dans laquelle les impacts sont interprétés comme des événements d'un pointeur de type souris.

Les figures 2-b à 2-f sont des saisies écran de la procédure d'étalonnage de l'interface graphique permettant d'établir la correspondance homothétique entre les coordonnées physiques et les coordonnées écran de la portion de la plaque jouant le rôle d'écran.

La figure 3a est une saisie écran des principales touches d'un clavier alphanumérique occupant environ toute la largeur de l'écran graphique et environ 1/3 de sa hauteur. Le clavier est enrichi de 2 touches supplémentaires permettant de le déplacer ou de réduire sa taille à deux boutons flottants selon la figure 3b.

La figure 4 est un chronogramme des principales étapes de mesure de la différence de temps de transit entre deux capteurs.

La figure 5a est un schéma bloc de l'architecture générale de la carte d'acquisition conçue à base de circuits analogiques et numériques avec, en particulier, l'utilisation d'un microcontrôleur capable de réaliser le traitement des données pour le calcul de l'instant d'arrivée du paquet d'ondes et le transfert des données par un protocole de communication série vers un micro-ordinateur ou un autre dispositif.

La figure 5b est un schéma électrique du module PMP de la figure 5a et représentant un générateur délivrant une haute tension HT utilisant une pompe à diodes, synchrone avec l'horloge système du microcontrôleur.

5 La figure 6 est une vue schématique en coupe du montage symétrique des transducteurs piézoélectriques d'un capteur destiné à détecter le mode  $S_0$  correspondant aux vibrations les plus rapides se propageant dans un verre feuilleté.

Les figures 7a et 7b montrent les signaux issus des transducteurs de la figure 6 en réponse à un impact distant de 70 cm (figure 7a) et 130 cm (figure 7b), après amplification sélective autour de 100 kHz.

10 La figure 7c montre de façon plus détaillée la perte de symétrie observée sur les modes  $S_0$  détectés par les transducteurs PZTb et PZTa de la figure 6 dans le cas d'un verre feuilleté constitué d'un assemblage de 2 plaques d'épaisseur 6 mm prenant en sandwich un film polymère.

15 La figure 8 est un schéma de principe du dispositif de détection à 3 capteurs collés dans les coins permettant de libérer les côtés de la plaque

La figure 9 montre l'incertitude de localisation d'un impact en neuf endroits de la plaque du dispositif de la figure 8 lorsque la détection de l'instant d'arrivée du paquet d'ondes est connue à 1  $\mu$ s près

20 La figure 10 est une vue schématique indiquant les temps de transit entre un impact et les capteurs d'un système de détection à quatre capteurs fonctionnant par triplets de capteurs opérant chacun sur un quadrant donné de la plaque.

La figure 11 est un schéma bloc d'une partie de l'architecture interne du composant programmé « wavepro4 » de la figure 5.

25 En référence tout d'abord à la figure 1, on a représenté une plaque PLQ comprenant quatre paires PZT00, PZT10, PZT01, PZT11 de transducteurs piézoélectriques qui constituent chacune un capteur acoustique, les deux transducteurs de chaque paire étant fixés en vis-à-vis sur les deux faces opposées de la plaque par exemple par collage pour recueillir les ondes acoustiques circulant dans la plaque. A la différence de la plaque décrite dans le brevet  
30 9816229, le sens des polarisations électriques et des connexions électriques sont respectivement symétriques par rapport au plan médian de la plaque et antiparallèles ou

antisymétriques par rapport au plan médian et parallèles de façon à discriminer tout mode de propagation antisymétrique et à privilégier tout mode de propagation symétrique.

Un repère orthogonal  $x,y$  d'origine  $O$  est associé à la plaque PLQ, le centre de la plaque pouvant coïncider avec l'origine  $O$  du repère. Les quatre capteurs constituent les sommets d'un rectangle. Les axes  $x$  et  $y$  coupent les milieux des côtés. PZT00, PZT10, PZT01, PZT11 ont pour coordonnées respectives  $(-p,-q)$  et  $(-p,q)$ ,  $(p,-q)$ ,  $(p,q)$ . Les ondes acoustiques peuvent être générées par le choc d'un objet sur la plaque. La plaque est un assemblage d'au moins 2 plaques isotropes réalisées chacune dans un matériau rigide constituant un bon conducteur acoustique isotrope autour de 100 kHz tel que le verre. Les plaques sont rigidement reliées les unes aux autres par un film polymère tel le butiral de polyvinyle, noté PVB. L'épaisseur du film polymère est de l'ordre de un à deux millimètres. Son impédance acoustique intrinsèque est petite devant celle du verre de sorte que l'on continuera dans cet exposé à supposer, en première approximation, que chacune des plaques constituant le verre feuilleté est susceptible de propager des ondes de Lamb symétriques et antisymétriques. Au cours de la propagation dans le verre feuilleté, les modes se propagent dans une plaque et d'une plaque à l'autre du feuilleté. Un choc produit à la surface du verre feuilleté donne naissance dans les plaques à des modes symétriques couplés ainsi qu'à des modes antisymétriques couplés. Compte tenu des vecteurs déplacements de matière qui les caractérise, les modes antisymétriques sont d'autant plus atténués par le PVB par rapport aux modes symétriques, que la fréquence acoustique est basse. Les figures 7a et 7b montrent clairement ce phénomène d'atténuation relative plus importante pour les modes antisymétriques : on y voit les signaux recueillis indépendamment par les transducteurs PZTa et PZTb de la figure 6 après amplification sélective à 100 kHz. Les signaux de la figure 7a sont une réponse à un choc engendré à 0,7 m de distance, tandis que les signaux de la figure 7b sont une réponse à un choc engendré à 1,3 m. Bien que plus efficacement engendrés que les modes symétriques, la propagation plus dispersive des modes antisymétriques combinée à l'atténuation par le PVB dégradent plus rapidement la tête des paquets d'ondes antisymétriques. C'est pourquoi, il est préférable quand on utilise du verre feuilleté de privilégier la détection des modes symétriques.

En outre, la demanderesse a observé que le montage des capteurs pour la détection des modes antisymétriques et la réjection des modes symétriques tel qu'il est décrit dans les brevets 98/16229 et WO/11378 est inutilisable avec les verres feuilletés. En effet, comme on peut le voir sur les courbes de la figure 7C obtenues par un choc sur un verre feuilleté constitué de 2

plaques de verre de 6 mm rigidement liées par un film PVB de 2 mm selon le montage de la figure 6, les modes  $S_0$  des plaques supérieure et inférieure ne sont plus totalement en opposition de phase, de sorte qu'il n'est plus possible de discriminer le mode  $S_0$  de façon efficace et quelle que soit l'intensité du choc, selon les méthodes connues décrites dans les brevets cités.

Le but de la présente invention est de montrer comment détecter les modes symétriques de façon fiable. Pour cela, l'invention propose de conserver un montage à 2 transducteurs en regard selon le montage symétrique et les connexions électriques en parallèle des transducteurs PZTa et PZTb de la figure 6, pour s'assurer cette fois de la discrimination des modes antisymétriques d'amplitude plus grande près des récepteurs. De plus, il faut aussi prendre en considération le fait que l'intensité et la phase des modes symétriques dépendent de l'angle d'impact sur la vitrine. Les formes d'ondes enregistrées par les récepteurs sont donc fortement variables. Pour les modes antisymétriques, elles diminuent d'amplitude et changent de forme selon les courbes de dispersion caractérisant les modes de Lamb, c'est à dire que les ondes mécaniques associées à des fréquences audibles présentent une vitesse de phase et de groupe plus faibles que les ondes mécaniques associées à des fréquences ultrasonores plus élevées. Ceci a pour effet de renouveler la forme de la tête du paquet d'ondes, ce qui fait apparaître des composantes fréquentielles de plus en plus élevées au cours de la propagation. Ça n'est pas le cas des modes symétriques dont la forme d'ondes se conserve car ils sont très peu dispersifs pour les fréquences ultrasonores considérées et les épaisseurs de plaque envisagées.

Si l'on s'en tient au traitement du signal décrit dans le brevet français 98/16229 faisant état d'une amplification large bande suivie d'une élévation au carrée suivie d'une détection de crête puis d'une intégration, il apparaît que ce procédé fonde la détection de l'instant d'arrivée du paquet d'ondes sur l'obtention d'un niveau seuil d'énergie. Or, plus le capteur est éloigné de la position de l'impact, plus il diminue en amplitude, ce qui implique un temps d'intégration plus long avant d'atteindre ce niveau seuil. Ce temps d'intégration dépendra alors de l'intensité du choc, ainsi que de la nature et de la forme de l'objet percutant. Ceci se manifestera en fin de procédure par une incertitude sur la position de l'impact.

Pour palier à cet inconvénient, la présente invention propose une modification du procédé de détection de l'instant d'arrivée du paquet d'ondes. Cette modification consiste à réaliser une mesure en deux étapes. La première étape est la même que la méthode connue dans le brevet

9816229 et dont le principe vient d'être rappelé. Elle permet de déterminer dans une première approximation l'instant d'arrivée d'un paquet et fournit des signaux de synchronisation pour la deuxième étape. La deuxième étape, nouvelle, consiste, pour chaque capteur, à échantillonner en permanence le signal en sortie de l'amplificateur sélectif centré sur une fréquence ultrasonore haute, environ 100 KHz, et à sauvegarder les échantillons dans une mémoire FIFO (Premier entré premier sorti) de profondeur suffisante pour emmagasiner l'équivalent de 10 périodes acoustiques. Typiquement, pour une fréquence d'échantillonnage de un million d'échantillons par seconde (1 MSPS) et une fréquence centrale de filtre de 100 kHz, la profondeur de la mémoire FIFO sera de 128 échantillons. L'échantillonnage en continu est effectué indépendamment pour chaque paire de capteur. L'échantillonnage du signal est arrêté par le signal de synchronisation. Le contenu de la mémoire FIFO, alors figé, contient un enregistrement numérique de la tête du paquet d'ondes. L'analyse de ce contenu, effectué plus loin dans ce descriptif, fournit l'intervalle de temps entre le signal de synchronisation et la tête du paquet d'ondes permettant de remonter, de façon indépendante de l'amplitude ou de la phase du signal, à l'instant d'arrivée de la tête du paquet. La précision sur la mesure de cet instant n'est alors plus imposée que par la fréquence d'échantillonnage, le rapport signal sur bruit et le nombre de bits de quantification.

Au cours de la première étape, le récepteur le plus prompt à atteindre le seuil énergétique de détection de la composante à 100 KHz définit l'origine des temps et déclenche un comptage du temps jusqu'à l'arrivée du paquet d'ondes sur les autres récepteurs.

Cette datation des événements peut éventuellement être remise en cause au cours de la deuxième étape, en l'occurrence lorsque la différence des temps de propagation est très faible. La configuration de la figure 1 convient bien lorsque l'on souhaite disposer d'une plaque avec des bords libres. Il suffit cependant de trois paires de capteurs pour déterminer les coordonnées d'un impact. La figure 8 illustre ce principe de détection à trois capteurs formant un triangle rectangle. Les axes du repère physique ainsi que son origine restent inchangés par rapport à la configuration à quatre capteurs de la figure 1. A la différence des transducteurs décrits dans les brevets précédents, les transducteurs de la présente invention ont des retours d'argenture permettant de réaliser les connexions sur la même face du capteur et par la suite le collage avec une colle isolante fluide. Les mesures des différences de temps de transit d'un paquet d'ondes se font de préférence dans deux directions orthogonales. Plusieurs configurations à 3 capteurs formant un triangle rectangle peuvent être extraites de la

configuration à 4 capteurs de la figure 1. Les quatre configurations décrites ci-dessous conduisent à des solutions mathématiques identiques, au signe près, pour les coordonnées d'un impact  $(x_r, y_r)$ . En outre, chacune de ces configurations est mieux adaptée que les autres, du point de vue de la précision de la mesure, si elle n'est utilisée que sur un quadrant donné de la plaque. Pour s'en rendre compte, prenons une configuration à trois capteurs PZT00, PZT10, PZT11 correspondant au schéma de la figure 8 et regardons l'incertitude que l'on obtient sur la position de l'impact lorsque l'incertitude sur le temps d'arrivée d'un paquet d'ondes est de  $1 \mu s$  pour un paquet d'ondes se déplaçant à 3350 m/s. La figure 9 illustre cette incertitude par des rectangles pleins dont la taille, donnée en millimètre est affichée en 9 endroits différents d'une plaque de dimensions 1400 mm x 800 mm. On constate que l'incertitude sur la position de l'impact reste inférieure à 7 mm<sup>2</sup> dans le quadrant (1,0) tandis qu'elle atteint 80 mm<sup>2</sup> dans le quadrant (0,1). On a donc intérêt à restreindre l'utilisation de la configuration de la figure 8 à un seul quadrant, le quadrant (1,0). Cependant, la même précision peut être obtenue sur les autres quadrants si l'on change de triplet de détection lorsque l'impact change de quadrant.

Ainsi, pour un impact donné, on détermine d'abord le quadrant  $(g_y, g_x)$  auquel il appartient, puis on calcule les coordonnées  $(x_r, y_r)$  selon la formule associée à ce quadrant.

La figure 10 montre une plaque rectangulaire avec quatre paires de capteurs à retour d'argenture collés dans les coins, les retours d'argenture étant orientés de façon à ce que la réponse angulaire des capteurs soit la plus uniforme possible sur une plage angulaire de réception de  $\pi/2$ . Les capteurs forment aussi un rectangle et permettent de définir un repère cartésien, dont le centre est le centre du rectangle formé par les capteurs et dont les axes passent par le milieu des côtés, de façon similaire à la figure 1. Les coordonnées cartésiennes des capteurs sont  $(-p, -q), (-p, +q), (+p, +q), (+p, -q)$ . Les ondes acoustiques se déplacent à la vitesse  $v$ . Les temps de propagation jusqu'aux capteurs d'un paquet d'ondes engendré par un impact en  $(x_r, y_r)$  sont  $t_{00}, t_{01}, t_{10}, t_{11}$ .

Les coordonnées  $(x_r, y_r)$  sont obtenues en résolvant un système d'équations, valable pour un quadrant donné. Les quatre systèmes d'équations sont :

- $(g_y, g_x) = (0,0)$ .  $x_r < 0$  et  $y_r < 0$

$$\begin{cases} v(t_{01}-t_{00})=v\Delta t_{xg}=v\Delta t_{x0}=\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r+q)^2}-\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r+q)^2} \\ v(t_{10}-t_{00})=v\Delta t_{yg}=v\Delta t_{y0}=\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r-q)^2}-\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r+q)^2} \end{cases}$$

- $(g_y, g_x) = (0,1)$ .  $x_r < 0$  et  $y_r > 0$

$$\begin{cases} v(t_{11}-t_{10})=v\Delta t_{xg}=v\Delta t_{x1}=\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r-q)^2}-\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r-q)^2} \\ v(t_{00}-t_{10})=v\Delta t_{yg}=v\Delta t_{y0}=\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r+q)^2}-\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r-q)^2} \end{cases}$$

$$\bullet (g_y, g_x) = (1, 0). x_r > 0 \text{ et } y_r < 0$$

$$\begin{cases} v(t_{00}-t_{01})=v\Delta t_{xg}=v\Delta t_{x0}=\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r+q)^2}-\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r+q)^2} \\ v(t_{11}-t_{01})=v\Delta t_{yg}=v\Delta t_{y1}=\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r-q)^2}-\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r+q)^2} \end{cases}$$

$$(g_y, g_x) = (1, 1). x_r > 0 \text{ et } y_r > 0$$

$$5 \quad \begin{cases} v(t_{10}-t_{11})=v\Delta t_{xg}=v\Delta t_{x1}=\sqrt{(x_r+p)^2+(y_r-q)^2}-\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r-q)^2} \\ v(t_{01}-t_{11})=v\Delta t_{yg}=v\Delta t_{y1}=\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r+q)^2}-\sqrt{(x_r-p)^2+(y_r-q)^2} \end{cases}$$

Les formules suivantes donnent la position de l'impact  $(x_r, y_r)$ . Il suffit de remplacer  $g_x$  et  $g_y$  par la valeur correspondant au quadrant concerné.

$$x_r = (-1)^{g_y} \frac{Atxy \left( q \sqrt{p^2 v^2 (4p^2 - v^2 Atxy^2)} (4p^2 + 4q^2 - v^2 (Atxy - Atyg)^2) Atyg^2 (4q^2 - v^2 Atyg^2) + p^2 v^2 Atyg^2 (-4q^2 + v^2 Atyg (-Atxy + Atyg)) \right)}{4p Atyg (q^2 v^2 Atxy^2 + p^2 (-4q^2 + v^2 Atyg^2))}$$

$$10 \quad y_r = (-1)^{g_x} \frac{q v^2 Atxy (-4p^2 + v^2 Atxy (Atxy - Atyg)) Atyg + \sqrt{p^2 v^2 (4p^2 - v^2 Atxy^2)} (4p^2 + 4q^2 - v^2 (Atxy - Atyg)^2) Atyg^2 (4q^2 - v^2 Atyg^2)}{4 (q^2 v^2 Atxy^2 + p^2 (-4q^2 + v^2 Atyg^2))}$$

La détermination du quadrant de mesure associé à un impact dépend des différences de temps de vol entre les quatre capteurs. La figure 4 illustre les étapes de mesure de la différence de temps de vol dans la direction « y » à partir des capteurs PZT00 et PZT10 et la carte

15 d'acquisition décrite selon le schéma bloc de la figure 5. Les signaux représentés sont :

- les signaux en sortie des filtres sélectifs centrés sur 100 kHz, FCH00 et FCH10,
- les contenus des mémoires FIFO10 et FIFO00 à l'instant de commutation bas-haut des signaux logiques de synchronisation SYNC10 et SYNC00
- le signal en sortie du quadrateur SQ00
- 20 - le signal INTGR00 en sortie de l'intégrateur de la voie associée à PZT00,
- les signaux logiques de synchronisation SYNC10 et SYNC00 en sortie des PMOS00 et PMOS10
- l'intervalle de temps  $\Delta t_{ys_0}$  séparant les signaux de synchronisation
- les intervalles de temps TT10 et TT00 séparant les têtes des paquets d'ondes des
- 25 signaux de synchronisation respectifs SYNC10 et SYNC00



- un compteur de fréquence de comptage identique à la fréquence d'échantillonnage des signaux et déclenché par le signal logique SYNC10

Les signaux relatifs aux deux autres capteurs PZT01 et PZT11 ne sont pas représentés, mais fournissent des signaux similaires sur leur propre voie d'acquisition.

- 5 De façon générale et en référence à ce qui vient d'être dit, les différences de temps de vol entre les capteurs, données en nombre de périodes d'horloge XBUF sont déterminées d'après les formules et les symboles suivants :

#, désigne un « ou » logique,

&, désigne un « et » logique,

- 10 abs, désigne la valeur absolue,

. désigne la multiplication,

Une barre au-dessus d'un symbole désigne l'inverse logique. Les symboles SP00 à SP11 sont les sorties de bascules D associées aux signaux SYNC00 à SYNC11 et passant à l'état logique haut lors d'une transition bas-haut des signaux respectifs SYNC00 à SYNC11.

- 15 On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{x0} = abs[TT_{01} - TT_{00} + (-1)^{SS_{x0}} XBUF \& \Delta t_{xs0}] \\ \Delta t_{xs0} = ((SP_{01} \& \overline{SP_{00}}) \# (\overline{SP_{01}} \& SP_{00})) \\ \Delta t_{x1} = abs[TT_{11} - TT_{10} + (-1)^{SS_{x1}} XBUF \& \Delta t_{xs1}] \\ \Delta t_{xs1} = ((SP_{11} \& \overline{SP_{10}}) \# (\overline{SP_{11}} \& SP_{10})) \\ SS_{x0} = SP_{00} \& \overline{SP_{01}} \\ SS_{x1} = SP_{10} \& \overline{SP_{11}} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{y0} = abs[TT_{10} - TT_{00} + (-1)^{SS_{y0}} XBUF \& \Delta t_{ys0}] \\ \Delta t_{ys0} = ((SP_{10} \& \overline{SP_{00}}) \# (\overline{SP_{10}} \& SP_{00})) \\ \Delta t_{y1} = abs[TT_{11} - TT_{01} + (-1)^{SS_{y1}} XBUF \& \Delta t_{ys1}] \\ \Delta t_{ys1} = ((SP_{11} \& \overline{SP_{01}}) \# (\overline{SP_{11}} \& SP_{01})) \\ SS_{y0} = SP_{00} \& \overline{SP_{10}} \\ SS_{y1} = SP_{01} \& \overline{SP_{11}} \end{array} \right\}$$

$g_x = 0$  si  $\Delta t_{y0} > \Delta t_{y1}$  et  $[TT_{10} - TT_{00} + (-1)^{SS_{y0}} XBUF \& \Delta t_{ys0}] < 0$

ou si  $\Delta t_{y1} > \Delta t_{y0}$  et  $[TT_{11} - TT_{01} + (-1)^{SS_{y1}} XBUF \& \Delta t_{ys1}] < 0$

$g_x = 1$  sinon

$g_y = 0$  si  $\Delta t_{x0} \geq \Delta t_{x1}$  et  $[TT_{01} - TT_{00} + (-1)^{SS_{x0}} XBUF \& \Delta t_{xs0}] < 0$

ou si  $\Delta t_{x1} \geq \Delta t_{x0}$  et  $[TT_{11} - TT_{10} + (-1)^{SS_{x1}} XBUF \& \Delta t_{xs1}] < 0$

$g_y = 1$  sinon

- 20 Les mémoires FIFO10 et FIFO00 contiennent chacune une numérisation de la tête du paquet d'ondes détecté par les capteurs respectifs PZT10 et PZT00. Le procédé de détermination des

coordonnées en deux étapes montre ici l'amélioration qu'il apporte : en effet, il n'était pas possible avec le système de détection analogique utilisant un intégrateur actif d'avoir l'instant précis d'arrivée du paquet d'ondes, simplement par ce qu'il n'est pas possible de connaître le temps que met l'intégrateur actif pour passer d'un état saturé positif voisin de +10 V, en l'absence de signal, à un état saturé négatif voisin de -10 Volts par intégration du signal. Au cours de cette transition, le signal passe à un moment donné au-dessous du seuil THR de commutation du transistor PMOS chargé d'adapter cette transition à des niveaux logiques compatibles avec la logique CMOS, caractérisée par une tension d'alimentation VCC pouvant valoir 5 Volts. Le seuil de commutation du transistor PMOS se situe environ 1,5 volts au-dessous de VCC, soit 3,5 Volts. Le temps de transition TT de l'intégrateur est ainsi le temps de commutation de +10 V à + 3,5 V déclenché par l'arrivée du paquet d'ondes. Ce temps dépend de l'amplitude de l'enveloppe du signal quadratique SQ, du gain apporté par l'intégrateur actif, ainsi que des caractéristiques propres de l'amplificateur opérationnel utilisé pour réaliser l'intégrateur. Bien que le temps d'intégration puisse être réduit en augmentant le gain de l'amplificateur ainsi qu'en réduisant la tension positive de l'état saturé, ce montage se trouve confronté au problème du compromis qu'il faut trouver entre sensibilité et fiabilité. Un gain trop élevé pourrait faire commuter l'intégrateur sur un signal parasite, tandis qu'un gain trop faible engendre une perte de précision due à un temps d'intégration plus fortement variable entre un impact de faible intensité et un impact de forte intensité. En procédant en deux étapes selon la présente invention, le gain de l'intégrateur est gardé suffisamment élevé pour garder une bonne immunité au bruit et le temps d'intégration correspondant à l'intervalle TT est connu. La mesure de l'intervalle TT consiste par exemple à redresser le signal numérisé, puis à créer une courbe d'interpolation à partir des amplitudes crête du signal numérisé redressé. L'intersection de la courbe d'interpolation avec l'axe des temps correspondant à la valeur de sortie de l'échantillonneur en l'absence de signal fournit l'instant  $t_{HD}$  origine du paquet. Une autre solution préférée pour mesurer l'intervalle TT, consiste à partir de l'instant de synchronisation situé à une extrémité de la fenêtre et à rechercher les instants de passage à zéro successifs vers la tête du paquet. Les instants de passage à zéro permettent de se verrouiller sur la période du signal numérisé, tandis qu'un test sur la somme des amplitudes entre les passages à zéro, c'est à dire par demi-périodes, décide de la poursuite de l'algorithme. Lorsque la valeur moyenne sur une demi-période est égale à la valeur de

sortie de l'échantillonneur en l'absence de signal, à un écart seuil près, l'algorithme est arrêté et la valeur moyenne est considérée comme étant l'instant origine  $t_{HD}$  du paquet.

En référence maintenant à la figure 5, chaque capteur est associé à une voie d'acquisition  
5 analogique. Les voies associées aux capteurs PZT00, PZT01, PZT11 sont équivalentes. Les  
voies analogiques sont caractérisées par une amplification large bande A1 et A2 suivie d'une  
amplification sélective FCH dans la bande ultrasonore, suivi d'une dérivation dont une voie  
va vers un convertisseur analogique numérique 8 bits CAN à plage de mesure positive. Les  
10 tensions d'entrées positives sont obtenues à l'aide d'un filtrage passe haut et d'un pont de  
polarisation à l'aide des composants Ca, Ra, Rb, Rc. Le convertisseur est piloté par des  
signaux logiques de contrôle CTA en provenance d'un micro contrôleur  $\mu C$ . Le convertisseur  
CAN alimente l'entrée d'une mémoire FIFO. Les données de la mémoire sont transférées via  
un bus de 8 bits de données DATA et d'autres signaux de contrôle CTF, commandant le  
15 chargement, le déchargement, la remise à zéro des pointeurs mémoire, la mise sous haute  
impédance du bus de sortie, des signaux d'indication de l'état de remplissage de la mémoire  
FIFO, en mémoire RAM du  $\mu C$  pour y être traitées localement et/ou pour y être transférées  
sur un autre dispositif ou un ordinateur plus puissant tel un micro ordinateur via un port de  
communication parallèle ou série qui peut-être un port USB, MIDI, ou RS232. Les niveaux  
20 logiques entre le microcontrôleur et le micro ordinateur sont adaptés à l'aide d'un adaptateur  
de niveau logique LGCSHF. L'autre voie issue de la dérivation alimente un étage élévateur au  
carré suivi d'un étage de détection de l'enveloppe suivi d'un étage intégrateur alimentant un  
transistor PMOS d'adaptation à un niveau logique CMOS.

La voie associée au capteur PZT10 possède en plus un bloc haute tension de commutation en  
mode émission. La haute tension est produite par le module PMP explicité par le schéma de la  
25 figure 5B et comprenant une pompe à diodes D21 à D26 et condensateurs C21 à C25  
alimentés par le signal logique XHT dont le niveau logique haut est adapté au potentiel +12 V  
à l'aide des transistors T10 et T11 et le niveau logique bas au potentiel -12 V à l'aide des  
transistors T12 et T13. Le signal XHT est issu d'une fonction « et » logique entre le signal  
d'horloge système XBUF du microcontrôleur et le signal CGPP activé au niveau haut  
30 lorsqu'une procédure de test d'intégrité de la plaque ou de mesure de vitesse de propagation  
ultrasonore est déclenchée. Sans la validation par le signal CGPP le module haute tension ne  
produit pas la haute tension HT voisine de 70 V. Le bloc de commutation est géré par le

composant logique programmé wavepro4 chargé de créer la rafale logique d'excitation et de compter le temps de propagation des ondes acoustiques entre le capteur PZT10 et les autres capteurs. Le composant logique programmé wavepro4 est piloté par le microcontrôleur  $\mu C$ . Les compteurs programmés sont alimentés par la même fréquence d'horloge système XBUF que celle du microcontrôleur. Cette fréquence est aussi la fréquence d'échantillonnage des convertisseurs analogique-numériques CAN. La rafale est obtenue à l'aide des signaux logiques SRC et SNK chargés de commander l'ouverture des transistors de commutation SWHTC et SWHTK. Les transistors CMRC et CMSH sont respectivement chargés de mettre le capteur en mode réception ou de court-circuiter l'entrée de la voie analogique d'amplification pour la protéger de la haute tension.

Une partie de l'architecture interne du composant programmé wavepro4 est décrite par le schéma bloc de la figure 11. Le composant dispose de bascules logiques FF1 à FF4 de type D déclenchées par les signaux de synchronisation SYNC00 à SYNC11. Des combinaisons logiques entre les sorties de ces bascules valident les bascules FF5 et FF6 dont les sorties sont les signaux  $SSx_0$  et  $SSx_1$ , tandis que d'autres combinaisons logiques définissent les fonctions logiques  $\Delta txs_0$  et  $\Delta txs_1$  représentant les intervalles de temps utilisés pour le calcul de la différence de temps de vol entre les capteurs. Une fonction « et » logique entre le signal d'horloge XBUF et les fonctions  $\Delta txs_0$  et  $\Delta txs_1$  alimentent respectivement les compteurs 12 bits ( $Q0x_{11}..Q0x_0$ ) et ( $Q1x_{11}..Q1x_0$ ) associés à des registres de sorties 3 états, chaque registre étant identifié et activé par le décodeur d'adresses ( $A3..A0$ ). Les 4 bits de poids forts des compteurs ( $Q0x_{11}..Q0x_8$ ) et ( $Q1x_{11}..Q1x_8$ ) partagent le même registre de sortie dans l'ordre suivant poids forts à gauche : (( $Q0x_{11}..Q0x_8$ ), ( $Q1x_{11}..Q1x_8$ )). Les bascules logiques FF1 à FF4 et FF7, FF8 permettent de reproduire de la même façon les fonctions logiques  $SSy_0$ ,  $SSy_1$  et  $\Delta tys_0$ ,  $\Delta tys_1$ , qui via un « et » logique avec le signal d'horloge XBUF alimentent respectivement les compteurs 12 bits ( $Q0y_{11}..Q0y_0$ ) et ( $Q1y_{11}..Q1y_0$ ) associés aussi à des registres de sorties 3 états. Les 4 bits de poids forts des compteurs ( $Q0y_{11}..Q0y_8$ ) et ( $Q1y_{11}..Q1y_8$ ) partagent le même registre de sortie dans l'ordre suivant, poids forts à gauche : (( $Q0y_{11}..Q0y_8$ ), ( $Q1y_{11}..Q1y_8$ )).

Tous les registres de sortie partagent le même bus DATA de données huit bits. Le composant crée aussi les fonctions logiques IntHF et IntBF routées vers des broches de sortie du composant wavepro4 et produisant lorsqu'elles commutent au niveau haut, une requête d'interruption détectée par le micro contrôleur  $\mu C$  disposant d'entrées prévues à cet effet.

La fonction IntBF est créée à partir de la bascule logique FFBF de type D. L'entrée horloge de la bascule provient d'un étage amplificateur sélectif FBF centré sur 10 KHz ou de préférence sur la partie supérieure du spectre audible délivrant un signal adapté à la logique CMOS par le transistor NMOS10. La bascule FFBF valide ainsi la présence d'énergie spectrale dans la partie supérieure du spectre audible. La fonction logique IntHF est créée à partir d'un « ou » logique entre les sorties Q des bascules FF1 à FF4 validant la présence d'énergie spectrale dans la bande ultrasonore vers 100 kHz. L'intervalle de temps séparant les interruptions IntHF et IntBF caractérise un impact sur la plaque. Compte tenu du spectre plus basse-fréquence auquel elle est rattachée, l'interruption IntBF survient toujours après IntHF. Lorsqu'elle ne survient pas ou qu'elle survient après un dépassement de délai d'attente, la mesure est refusée car elle est susceptible d'avoir été causée par un signal ultrasonore intempestif s'étant propager jusqu'à la plaque par le sol. Les sorties  $\overline{Q}$  des bascules logique FF1 à FF4 sont routées moyennant un ET logique avec le signal XBUF vers les broches de sortie du composant wavepro4 et forment les signaux d'horloge respectifs LDCK00, LDCK01, LDCK10, LDCK11 des mémoires FIFO00 à FIFO11. Les mémoires FIFO sont ainsi figées à l'instant de commutation des signaux SYNCij, avec i et j valant 0 ou 1.

La quantification de l'intensité de l'impact est réalisée en déroutant le signal de sortie d'un amplificateur sélectif haute fréquence, c'est à dire au voisinage de 100 kHz, par exemple celui de FCH00 vers un compteur d'impact 12 bits, programmé dans le composant wavepro4 dont l'entrée horloge CLKi est le signal FCH00 adapté à la logique CMOS

Le microcontrôleur est de préférence à architecture RISC. Son horloge système XBUF est un multiple de la fréquence 32768 Hz du quartz QRTZ. Le microcontrôleur dispose de compteurs/timers, de plusieurs ports d'entrées/sorties fonctionnant avec et sans interruption, de mémoire vive RAM, de mémoire morte PROM ou programmable électriquement EPROM ou de type mémoire FLASH reprogrammable, de moyens de programmation in situ du code programme de type JTAG, ainsi que des moyens de communication série vers d'autres dispositifs. Il est doté d'au moins quatre fonctions capturer/comparer permettant de dater des événements temporels. Les signaux de synchronisation SYNC00, SYNC01, SYNC10, SYNC11 sont en particulier connectés aux ports capturer/comparer. Le microcontrôleur dispose d'une unité arithmétique et logique lui permettant de calculer les coordonnées cartésiennes de l'impact, ainsi que de quantifier l'intensité de l'impact. Cette solution est

envisagée lorsqu'il est nécessaire de transmettre rapidement les informations d'intensité et de position relatives à l'impact. En particulier, il est possible d'utiliser la plaque acoustique comme un piano ou un instrument de percussion bidimensionnel. Une touche correspond alors à un son ou un événement audiovisuel élémentaire exécuté de façon prédéfinie, lorsque l'on

5 percute une portion donnée de la plaque avec une intensité plus ou moins forte. Dans ce type d'applications, on recherche un temps de réponse rapide, typiquement inférieur à dix millisecondes. La plaque acoustique est de plus petites dimensions, de l'ordre de 0,25 m<sup>2</sup>. Le microcontrôleur est chargé alors de l'ensemble du traitement ainsi que de la communication des informations ( $x_r, y_r$ , compteurs d'impacts) via l'interface MIDI définie pour les instruments

10 de musique numériques.

Selon un autre aspect pouvant être considéré indépendamment ou non des aspects évoqués ci-dessus, l'invention propose d'améliorer l'ergonomie et le confort d'utilisation de la vitrine en traitant le problème de la gêne sonore occasionnée par l'impact d'un objet sur la plaque selon

15 un procédé de masquage du son engendré par l'impact, par un son synthétisé déclenché par IntHF. En effet, les signaux de synchronisation commutent au début du son audible engendré par la percussion. On peut donc s'en servir de façon avantageuse pour déclencher un enregistrement suivi d'un traitement et d'une synthèse sonore en temps réel qui va se superposer au bruit de l'impact, et qui pourra enrichir son contenu fréquentiel de façon à

20 imiter un son connu, comme par exemple le bruit d'un instrument de percussion, d'un animal ou d'un événement naturel ou à produire un son simplement différent du son engendré par l'impact. Le son synthétisé pourra dans certaines régions de l'espace s'opposer en amplitude au son produit par l'impact de façon à réduire l'intensité du bruit. On peut par choix conditionner l'émission du son synthétisé à la présence de l'interruption IntBF se produisant

25 en pratique moins de 1 milliseconde après IntHF.

Le système selon l'invention comprend comme on l'a dit un ordinateur qui reçoit les signaux issus des circuits électriques de traitement. L'ordinateur peut, en fonction de ces signaux, émuler le fonctionnement de certains périphériques comme par exemple un pointeur de type

30 souris ou un clavier. Lorsque la plaque acoustique est associée à un écran de grandes dimensions comme un écran plasma ou un vidéo projecteur projetant l'interface graphique à la surface de la plaque acoustique, on peut établir une correspondance homothétique entre les

coordonnées écran en pixels et les coordonnées physiques en millimètres de tout impact de façon à ce qu'un pointeur graphique apparaisse à l'écran en regard de l'impact. Cette correspondance doit pouvoir être établie sachant que les positions relatives du vidéo-projecteur et de la plaque peuvent changer de façon accidentelle. Pour cela, l'invention propose une procédure d'étalonnage de l'interface simple et rapide. La procédure est réalisée en cinq étapes en référence aux figures 2-b, 2-c, 2-d, 2-e et 2-f. L'opérateur s'assure auparavant et en orientant au besoin son vidéo-projecteur que les axes des repères cartésiens graphique et physique soient colinéaires. La procédure d'étalonnage proprement dite peut alors commencer. La figure 2-b est un écran de présentation de la procédure. L'opérateur doit réaliser un impact sur la plaque pour passer à l'étape illustrée à la figure 2-c. Au cours de cette deuxième étape, une cible apparaît à l'écran. Les coordonnées écran  $N_0(i,j)$  de la cible sont connues et proches de l'origine des coordonnées écran. Le choc sur la plaque en regard de la cible fournit au logiciel les coordonnées physiques cartésiennes correspondantes  $N_0(x_a, y_c)$ . Nous passons alors à l'étape 3 avec la figure 2-d. Une deuxième cible apparaît avec des coordonnées écran connues  $N_1(k,l)$  proches des coordonnées maximales de l'écran. On demande là aussi à l'opérateur d'effectuer un impact sur la plaque en regard de la cible afin que le logiciel d'étalonnage détermine les coordonnées physiques cartésiennes  $N_1(x_b, y_d)$  correspondantes. Le logiciel dispose alors de suffisamment d'informations pour déterminer les coordonnées écran ( $N_{qx}, N_{qy}$ ) de tout autre impact à partir de ses coordonnées physiques ( $x_r, y_r$ ) selon la formule de correspondance suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{qx} = i + (k-i) \frac{(x_r - x_a)}{(x_b - x_a)} \\ N_{qy} = j + (l-j) \frac{(y_r - y_d)}{(y_c - y_d)} \end{array} \right\}$$

Il reste à vérifier que l'étalonnage est satisfaisant. C'est le but de l'étape 4 illustrée par la figure 2-e : une cible apparaît au milieu de l'écran, par exemple de coordonnées écran (400,300) pour un écran affichant avec une résolution SVGA maximale de (800,600). On demande là aussi à l'opérateur d'effectuer un impact en regard de la cible, ce qui conduit à l'étape 5 illustrée par la figure 2-f. Une fenêtre de dialogue apparaît affichant d'un côté, les coordonnées écran attendues ATX et ATY c'est à dire (400,300) et de l'autre les coordonnées

écran déduites RESX et RESY de la formule de correspondance ci-dessus. Lorsque l'écart dépasse un certain seuil, en pratique d'une dizaine de pixels, il est conseillé de recommencer la procédure.

Une fois établie la correspondance homothétique entre la plaque et l'écran graphique, tout impact en un endroit donné de la plaque, situé en regard de l'écran peut être visualisé à l'écran par un pointeur graphique. Un pilote logiciel permet alors de faire en sorte que ces impacts soient interprétés comme des événements d'un autre périphérique de pointage, comme par exemple un périphérique de type souris. Un impact sur la plaque sera ainsi interprété comme un clic ou un double-clic de souris à l'endroit des coordonnées écran de l'impact.

- 10 Si ces coordonnées correspondent à l'emplacement d'une icône associée à l'exécution d'un programme, celui-ci sera exécuté.

Les impacts peuvent être interprétés comme des événements associés à d'autres périphériques, en particulier de type clavier. Ceci est très utile lorsque l'on navigue sur le réseau Internet et que l'on désire communiquer des informations nécessitant l'entrée de caractères alpha numériques.

15

L'invention prévoit à cet effet une barre de menu, flottante et toujours accessible représentée à la figure 3-B. Cette barre est disposée dans un coin de l'écran. Elle contient un nombre limité d'icônes afin de masquer le moins de surface graphique possible. Cependant, si malgré cet encombrement minimal, la barre masquait un document en arrière plan, il est possible de la déplacer dans un autre coin de l'écran indiqué par l'icône K03 représentant une barre de menu associée à une flèche indiquant le coin dans lequel se trouvera la barre de menu flottant lors du prochain impact sur cette icône. Des impacts successifs sur cette icône auront pour effet de déplacer la barre dans les quatre coins de l'écran, le déplacement vers un autre coin se faisant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

20

25 La deuxième icône visible K04 sur la figure 3-B représente un clavier. Un impact effectué en regard de cette icône déclenche l'apparition du clavier alphanumérique de la figure 3-A. Afin de maximiser la surface occupée par les touches, de façon à ce que l'association d'un impact à une touche soit fiable sans pour autant couvrir toute la surface de l'écran, le clavier contient un nombre restreint de touches alphanumériques selon un format configurable, français de type AZERTY ou américain de type QWERTY.

30

Le clavier occupe toute la largeur de l'écran, mais seulement un tiers de sa hauteur. Là aussi, il est prévu une touche supplémentaire K01 pour le déplacer vers le haut ou vers le bas au cas



où il masquerait le document d'intérêt situé en arrière plan. La touche représente un clavier avec une flèche au-dessus ou au-dessous selon que le clavier se trouve respectivement dans la partie basse ou haute de l'écran.

Un autre aspect de l'invention concerne l'ajout d'une fonctionnalité permettant de limiter la portion de la plaque sur laquelle les impacts émulent les événements du pointeur graphique de type souris (clic ; double clic etc..). En effet il est souhaitable en milieu public de limiter le champ d'action des utilisateurs peu scrupuleux. En particulier, la fonctionnalité vise à empêcher un utilisateur de quitter une application logicielle en cliquant dans les icônes de fermeture ou dans les menus déroulant. Il suffit pour cela de définir une zone de l'écran autorisant l'interprétation des impacts en événements du périphérique souris. Un impact effectué en dehors de la zone autorisée déclenchera éventuellement l'affichage d'un message. Le message peut se présenter sous la forme d'une fenêtre graphique dont les contours délimitent la zone autorisée.

La procédure de définition de la zone autorisée est illustrée à la figure 2a. Elle montre une fenêtre de dialogue. La zone autorisée est définie soit, en entrant directement les coordonnées écran (X,Y) du coin supérieur gauche, suivies de la donnée de la largeur L et hauteur H de la zone en pixels, soit par acquisition directe de ces données en activant successivement les touches « acquérir » et en effectuant les impacts acoustiques dans les coins supérieur gauche et inférieur droit correspondants de la zone à définir. Les impacts sont convertis ensuite en coordonnées écran, à partir desquelles sont extraites les données qui s'affichent dans les champs prévus pour la saisie directe des valeurs.

Cette fenêtre de dialogue contient aussi une image schématique de la plaque permettant de configurer l'acquisition des coordonnées. Les symboles p et q définissant les coordonnées cartésiennes des capteurs tout au long de ce descriptif sont remplacés sur la figure respectivement par les symboles CH et CV.

## REVENDICATIONS

1.Dispositif d'acquisition des coordonnées de position d'une source d'ondes mécaniques engendrées éventuellement par un impact à la surface d'une plaque (PLQ) de dimensions finies comprenant un ensemble de capteurs acoustiques (PZT00 à PZT11) formés chacun  
5 d'une paire de transducteurs piézoélectriques (PZTa, PZTb) situés en vis à vis de part et d'autre de la plaque, le dispositif comprenant des moyens de traitement pour déterminer les coordonnées de la source par l'analyse de la différence de temps de propagation des ondes acoustiques engendrées par la source vers les différents capteurs, dispositif caractérisé en ce que, les moyens de traitement comprennent en association avec chaque capteur (PZT00 à  
10 PZT11) un circuit électronique respectif comprenant en cascade des moyens pour numériser le signal amplifié autour d'une fréquence prédéterminée, associés à des moyens pour limiter la numérisation à une fenêtre temporelle débutant avant l'arrivée des ondes acoustiques sur un capteur et se terminant après l'arrivée des ondes acoustiques sur le dit capteur.

15 2.Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que les capteurs sont au nombre de quatre et les transducteurs piézoélectriques de chaque capteur sont des disques ou des plaquettes de céramiques piézo-électriques collés de part et d'autre de la plaque, de manière à ce que les quatre capteurs forment sur la plaque les sommets d'un rectangle dont le centre (O) constitue l'origine des coordonnées d'un repère cartésien dont les axes x et y sont parallèles à  
20 au moins deux côtés du rectangle défini par les quatre capteurs.

3.Dispositif selon les revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que la détermination des coordonnées de position se fait par un triplet de capteurs pris parmi les quatre capteurs, ledit triplet correspondant aux trois capteurs les plus près de la source, chaque triplet étant chargé  
25 de la détection des coordonnées dans un quadrant donné du repère cartésien défini par les capteurs

4.Dispositif selon les revendications 1 à 3 caractérisé en ce que la localisation d'un point d'interaction de la source avec la plaque consiste à extraire la composante fréquentielle  
30 ultrasonore au voisinage de 100 kHz engendrée par l'impact d'un objet dur tel que l'ongle du doigt, une clé métallique, un stylo à bille, un matière plastique dure en forme de baguette et à déterminer la plus grande des différences en valeur absolue des temps de vol entre deux

capteurs de deux premières paires (PZT00,PZT01) identifiée par  $g_x = 0$  ou (PZT10,PZT11) identifiée par  $g_x = 1$ , d'une part, et deux paires de deux capteurs (PZT00,PZT10) identifiée par  $g_y = 0$  ou (PZT01,PZT11) identifiée par  $g_y = 1$ , d'autre part, de sorte que les coordonnées cartésiennes du point d'impact ( $x_r, y_r$ ) sur la plaque soient données par la formule :

$$x_r = (-1)^{g_x} \frac{\Delta t x g \left( \sqrt{p^2 v^2 (4 p^2 - v^2 \Delta t x g^2) (4 p^2 + 4 q^2 - v^2 (\Delta t x g - \Delta t y g)^2)} \Delta t y g^2 (4 q^2 - v^2 \Delta t y g^2) + p^2 v^2 \Delta t y g^2 (-4 q^2 + v^2 \Delta t y g (-\Delta t x g + \Delta t y g)) \right)}{4 p \Delta t y g (q^2 v^2 \Delta t x g^2 + p^2 (-4 q^2 + v^2 \Delta t y g^2))}$$

$$y_r = (-1)^{g_y} \frac{q v^2 \Delta t x g (-4 p^2 + v^2 \Delta t x g (\Delta t x g - \Delta t y g)) \Delta t y g + \sqrt{p^2 v^2 (4 p^2 - v^2 \Delta t x g^2) (4 p^2 + 4 q^2 - v^2 (\Delta t x g - \Delta t y g)^2)} \Delta t y g^2 (4 q^2 - v^2 \Delta t y g^2)}{4 (q^2 v^2 \Delta t x g^2 + p^2 (-4 q^2 + v^2 \Delta t y g^2))}$$

ou  $p$  et  $q$  désignent la position des capteurs par rapport au centre  $O$  du rectangle,  $v$ , la vitesse du mode de plaque sélectionné par le montage particulier de la paire de transducteurs formant un capteur,  $\Delta t x g$ , (respectivement  $\Delta t y g$ ) la différence des temps de propagation du paquet d'ondes engendré par l'impact entre les capteurs de l'une des deux premières paires (respectivement de l'une des deux paires suivantes), sélectionnée par la valeur de l'indice  $g_x$  (respectivement  $g_y$ ) valant 0 si la coordonnée  $y_r$  (respectivement  $x_r$ ) est négative et 1 sinon et s'écrivant  $\Delta t x_0$  si  $g_x = 0$  ou  $\Delta t x_1$  si  $g_x = 1$  (respectivement  $\Delta t y_0$  si  $g_y = 0$  ou  $\Delta t y_1$  si  $g_y = 1$ )

5. Dispositif selon les revendications 1 à 4 caractérisé en ce que lesdits circuits électroniques associés aux capteurs PZTij ( $i$  ou  $j$  valant 0 ou 1) comprennent en cascade deux étages préamplificateur large bande ( $A1ij$ ,  $A2ij$ ), un étage amplificateur sélectif FCHij centré sur une fréquence voisine de 100 kHz, un étage élévateur au carré (SQij), un étage détecteur de crête (ENVLij), un étage intégrateur (INTGRij), un étage PMOSij d'adaptation à un niveau logique fournissant un signal de synchronisation SYNCij, ledit signal de synchronisation SYNCij déclenchant, par une transition logique, une bascule FFij chargée de commander l'arrêt du convertisseur analogique numérique CANij et le transfert en mémoire FIFOij (premier entré premier sorti) de la valeur numérisée du signal issu du filtre sélectif FCHij dérivé vers le convertisseur CANij.

6. Dispositif selon les revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les moyens de traitement comprennent en aval desdits circuits électroniques associés aux capteurs respectifs un module logique programmable (wavepro4) piloté par un microcontrôleur  $\mu C$  d'une unité arithmétique et logique, de ports d'entrées/sorties fonctionnant sur interruption, de mémoire vive RAM, de mémoire programme de type ROM, d'une horloge temps réel, de ports de capture des instants

de commutation des signaux SYNCij, de ports de communication, de bus de données et de bus d'adresses.

7. Dispositif selon les revendications 1 et 6 caractérisé en ce que le microcontrôleur  $\mu C$  dispose de moyens logiciels pour mesurer l'intervalle de temps TTij séparant la tête d'un paquet d'ondes  $t_{HDij}$  du front montant du signal de synchronisation SYNCij, les dits moyens logiciels consistant à déterminer les instants de passage à zéro du signal numérisé à partir de l'extrémité de la fenêtre de numérisation commençant sur le front montant de SYNCij, tandis qu'un test de décroissance sur les valeurs somme successives des amplitudes entre les passages à zéro, c'est à dire un test sur la valeur moyenne du signal par demi-période, décide de la poursuite de l'algorithme de recherche de l'instant  $t_{HDij}$ . Lorsque la valeur moyenne sur une demi-période est égale à la valeur de sortie de l'échantillonneur en l'absence de signal, à un écart seuil près, l'algorithme est arrêté, et la valeur moyenne est considérée comme étant l'instant origine  $t_{HDij}$  du paquet.

15

8. Dispositif selon les revendications 1 à 7 caractérisé en ce que les valeurs des bits  $g_x$  et  $g_y$  sont déterminées par les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{x0} = abs[TT_{01} - TT_{00} + (-1)^{SS_{x0}} XBUF \& \Delta t_{xs0}] \\ \Delta t_{xs0} = ((SP_{01} \& \overline{SP_{00}}) \# (\overline{SP_{01}} \& SP_{00})) \\ \Delta t_{x1} = abs[TT_{11} - TT_{10} + (-1)^{SS_{x1}} XBUF \& \Delta t_{xs1}] \\ \Delta t_{xs1} = ((SP_{11} \& \overline{SP_{10}}) \# (\overline{SP_{11}} \& SP_{10})) \\ SS_{x0} = SP_{00} \& \overline{SP_{01}} \\ SS_{x1} = SP_{00} \& \overline{SP_{01}} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{y0} = abs[TT_{10} - TT_{00} + (-1)^{SS_{y0}} XBUF \& \Delta t_{ys0}] \\ \Delta t_{ys0} = ((SP_{00} \& \overline{SP_{00}}) \# (\overline{SP_{00}} \& SP_{00})) \\ \Delta t_{y1} = abs[TT_{11} - TT_{01} + (-1)^{SS_{y1}} XBUF \& \Delta t_{ys1}] \\ \Delta t_{ys1} = ((SP_{11} \& \overline{SP_{11}}) \# (\overline{SP_{11}} \& SP_{11})) \\ SS_{y0} = SP_{00} \& \overline{SP_{00}} \\ SS_{y1} = SP_{01} \& \overline{SP_{01}} \end{array} \right\}$$

$$g_x = 0 \text{ si } \Delta t_{y0} > \Delta t_{y1} \text{ et } [TT_{10} - TT_{00} + (-1)^{SS_{y0}} XBUF \& \Delta t_{ys0}] < 0$$

$$\text{ou si } \Delta t_{y1} > \Delta t_{y0} \text{ et } [TT_{11} - TT_{01} + (-1)^{SS_{y1}} XBUF \& \Delta t_{ys1}] < 0$$

$$g_x = 1 \text{ sinon}$$

$$g_y = 0 \text{ si } \Delta t_{x0} \geq \Delta t_{x1} \text{ et } [TT_{01} - TT_{00} + (-1)^{SS_{x0}} XBUF \& \Delta t_{xs0}] < 0$$

$$20 \quad \text{ou si } \Delta t_{x1} \geq \Delta t_{x0} \text{ et } [TT_{11} - TT_{10} + (-1)^{SS_{x1}} XBUF \& \Delta t_{xs1}] < 0$$

$$g_y = 1 \text{ sinon}$$

9.-Dispositif selon les revendications 1 à 8 caractérisé en ce que la plaque acoustique est un verre feuilleté constitué d'un assemblage de plaques de même épaisseur, collées les unes aux autres par un film polymère.

5 10.Dispositif selon les revendications 1 à 9 caractérisé en ce que les transducteurs piézoélectriques d'un capteur sont des céramiques ferroélectriques dont les vecteurs polarisations sont orientés symétriquement par rapport à l'épaisseur de la plaque et les connexions électriques sont en parallèles.

10 11.Dispositif selon les revendications 1 à 9 caractérisé en ce que les transducteurs piézoélectriques d'un capteur sont des céramiques ferroélectriques dont les vecteurs polarisations sont orientés antisymétriquement par rapport à l'épaisseur de la plaque et les connexions électriques sont en antiparallèles.

15 12.Dispositif selon les revendications 1 à 11 caractérisé en ce que les céramiques piézoélectriques sont des disques ou des plaques dont l'électrode inférieure, au contact de la plaque, est ramenée sur une petite portion de face supérieure, en restant isolée de l'électrode supérieure par une bande de garde isolante électrique.

20 13.Dispositif selon les revendications 1 à 11 caractérisé en ce que l'un des capteurs par exemple PZT10 est apte à être commuté en émetteur d'un paquet d'ondes ultrasonores afin de déclencher une mesure de vitesse de propagation des ondes acoustiques dans au moins deux directions différentes données par les positions des autres capteurs.

25 14.-Dispositif selon l'une des revendications précédentes constituant une interface périphérique avec un ordinateur muni d'un écran.

15.Dispositif selon la revendication 14 caractérisé en ce que la plaque acoustique sert aussi d'écran de visualisation par diffusion de la lumière projetée, soit par dépolissage d'au moins  
30 une des faces des plaques de verre, soit par utilisation d'un film polymère translucide éventuellement coloré, éventuellement combiné à un effet de concentration de la lumière au moyen d'une lentille de Fresnel.

16. Dispositif selon les revendications 14 et 15 caractérisé en ce que les axes du repère écran et de la plaque acoustique sont colinéaires.

5 17.-Dispositif selon les revendications 14 à 16 caractérisé en ce qu'une correspondance homothétique entre un pixel ( $N_{qx}, N_{qy}$ ) du repère écran et un point physique ( $x_r, y_r$ ) de la plaque en regard du pixel graphique est établie par un étalonnage automatisé selon les opérations suivantes :

• affichage par le logiciel d'une cible en diverses positions de coordonnées écran connues et  
10 mesure des coordonnées physiques correspondantes. Par exemple, une première cible est affichée en  $N_0(i, j)$  où  $i$  et  $j$  sont des coordonnées écran, prêt de l'origine des coordonnées graphiques. Cette cible s'affiche sur la plaque acoustique aux coordonnées réelles  $N_0(x_a, y_a)$ . Un impact réalisé en regard de la cible permet de recueillir ces coordonnées réelles via le dispositif d'acquisition. Une deuxième cible est affichée ensuite en  $N_1(k, l)$  prêt des  
15 coordonnées maximales de l'interface graphique. Les coordonnées réelles correspondantes  $N_1(x_b, y_b)$  sont obtenues par un impact en regard de la cible. Les coordonnées graphiques ( $N_{qx}, N_{qy}$ ) d'un pixel de coordonnées réelles ( $x_r, y_r$ ) peuvent alors être déduites de la formule

$$\begin{cases} N_{qx} = i + (k - i) \frac{(x_r - x_a)}{(x_b - x_a)} \\ N_{qy} = j + (l - j) \frac{(y_r - y_a)}{(y_b - y_a)} \end{cases}$$

• Une cible de référence est affichée une dernière fois au centre de l'écran graphique. L'impact  
20 réalisé en regard de la cible est converti en coordonnées écran selon la formule ci-dessus. La position calculée est comparée à la position de référence. Si l'écart est inférieur à un certain seuil, l'opération d'étalonnage est validée. Sinon elle est reconduite.

18. Dispositif selon les revendications 1 à 17 caractérisé en ce que la plaque acoustique  
25 constitue un périphérique de pointage graphique susceptible d'émuler un autre périphérique de pointage comme par exemple un périphérique de type souris, un impact sur la plaque en une position donnée étant alors interprété selon un codage particulier, comme un clic ou un double clic réalisé sur les coordonnées écran correspondantes et déclenchant l'exécution de programmes associés à une icône située en regard de l'impact.

19. Dispositif selon les revendications 1 à 18 caractérisé en ce que la zone d'émulation des événements souris (clic, double clic, etc...) se limite à une portion autorisée de la zone écran se présentant sous la forme d'un rectangle défini par les coordonnées X,Y en pixels de l'un de ses coins ainsi que sa largeur L et sa hauteur H en pixel, ces valeurs pouvant être saisies directement au clavier ou pouvant être déduites par acquisition des coordonnées des impacts dans les coins de la zone autorisée à définir.

20. Dispositif selon les revendications 1 à 19 caractérisé en ce qu'il est muni de moyens logiciels permettant de réaliser une barre d'outil flottante, accessible en permanence, constituée de plusieurs icônes K03, K04 assurant lors d'un impact qui leur est porté :

- l'apparition (K04) à l'écran d'un clavier alphanumérique dont deux de ses touches K01 et K02 prévoient respectivement son déplacement de bas en haut ainsi que sa réduction à la barre de menu flottante,

- le déplacement (K03) rapide et circulaire de la barre d'outil dans l'un des quatre coins de l'écran, désigné par le sens de la flèche représentée sur l'icône.

21. Dispositif selon les revendications 1 à 20 caractérisé en ce qu'il dispose de moyens logiciels pour que la portion de la plaque qui ne sert pas d'écran soit aussi interactive et soit configurée comme une extension de la zone écran, en particulier un impact réalisé à gauche (respectivement, à droite, au-dessus, au-dessous) de la zone écran déplace le contenu de l'écran vers la droite (respectivement à gauche, au-dessous, au-dessus), permettant ainsi de lire un document de taille bien supérieure à la taille de la zone écran.

22. Dispositif selon les revendications 1 à 21 caractérisé en ce qu'il dispose de moyens logiciels pour que la portion de la plaque qui sert d'écran soit considérée comme une zone spéciale permettant de quitter ou commuter de toute application logicielle gestionnaire de l'exécution de groupes de programmes associés à diverses zones de la plaque situées hors écran. Inversement, le système dispose de moyens logiciels pour que tout impact réalisé sur la plaque en dehors de la zone écran soit associé à l'exécution d'une application choisie, gestionnaire de l'espace de travail situé hors écran, comme par exemple l'application où, à partir de la correspondance homothétique établie entre les pixels d'une photo numérique de la

plaque acoustique et les coordonnées physiques de ces pixels sur la plaque acoustique, des groupes de programmes sont exécutés à la suite d'un impact sur une zone donnée de la plaque.

23. Dispositif selon les revendications 14 à 22 caractérisé en ce qu'il est muni de moyens  
5 logiciels tels que des protocoles de type client-serveur permettant à l'interface graphique d'être connectée, via un modem ou une carte réseau, à un fournisseur d'accès Internet.

24. Dispositif selon les revendications 14 à 22 caractérisé en ce qu'il contient des moyens  
10 logiciels permettant de réactualiser le contenu multimédia (image, son, vidéo) disponible sur l'ordinateur hôte de l'interface graphique depuis un ordinateur distant.

25. Dispositif selon les revendications 1 et 24 caractérisé en ce que les circuits électroniques  
associés aux capteurs respectifs PZTij comprennent en aval desdits moyens d'amplification  
large bande A2ij une dérivation vers des moyens d'enrichissement fréquentiel du signal  
15 acoustique audible engendré par l'impact sur la plaque, ainsi que des moyens pour reconvertir le signal enrichi en signal analogique et l'envoyer sur des haut-parleurs de façon à masquer la gêne occasionnée par l'impact sous la forme d'un son différent reproduisant par exemple le bruit d'un instrument de percussion au sein d'une composition symphonique, ou le bruit d'un animal ou d'un événement naturel, lesdits moyens d'enrichissement étant mis en œuvre à  
20 l'instant même IntHF où le premier des quatre signaux de synchronisation SYNCij commute de niveau logique.



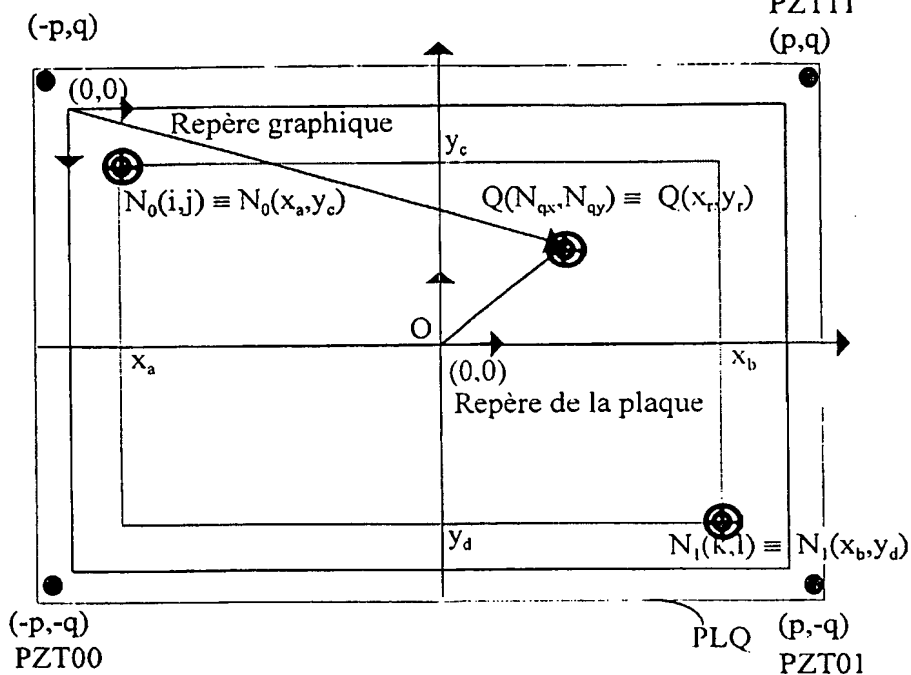


FIG - 1

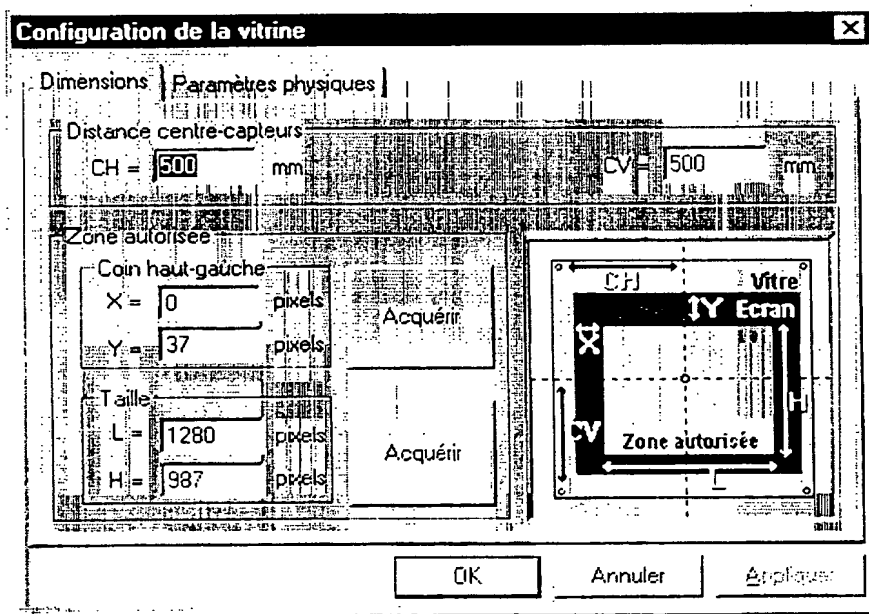


FIG - 2A

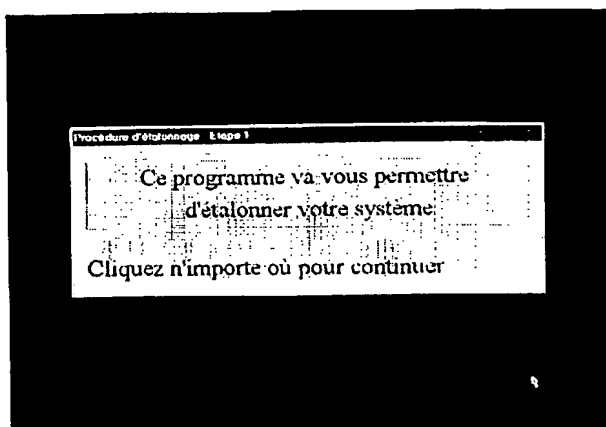


FIG - 2B

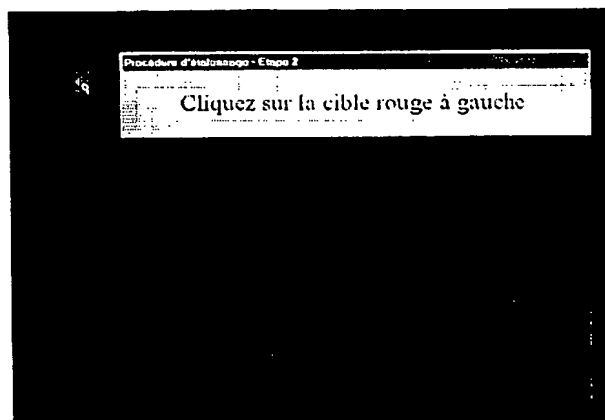


FIG - 2C

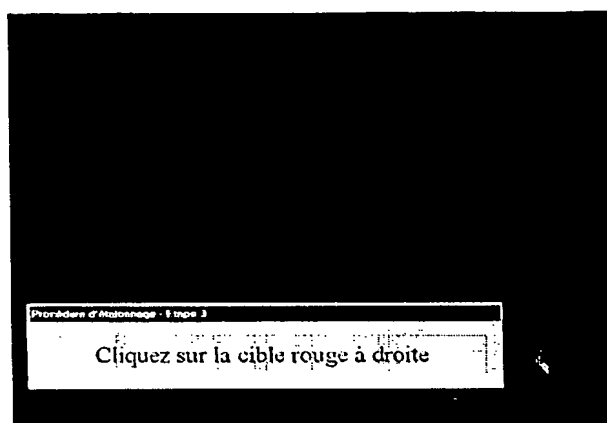


FIG - 2D

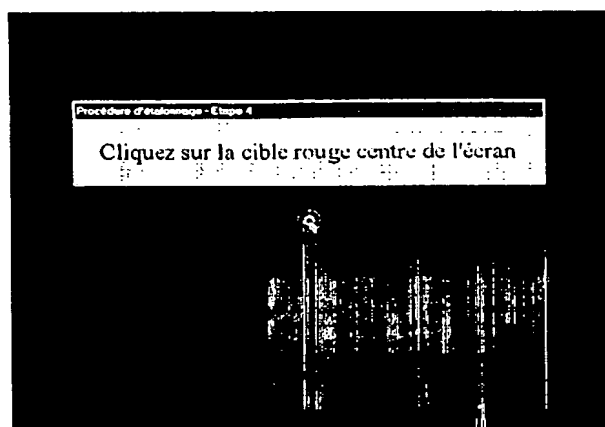


FIG - 2E

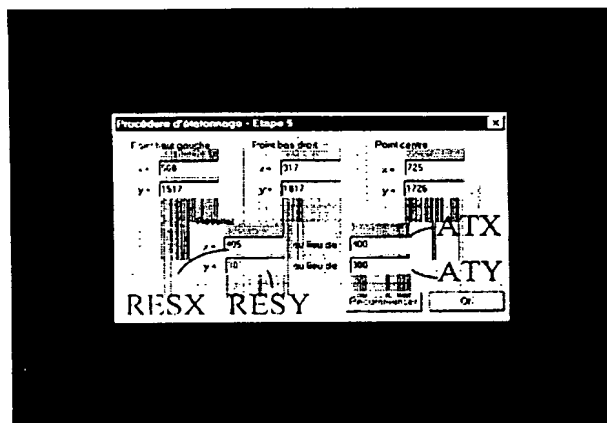


FIG - 2F

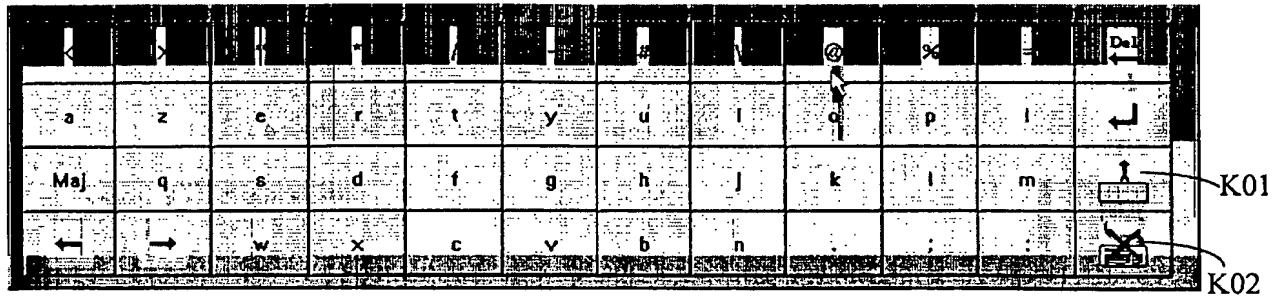


FIG - 3 A

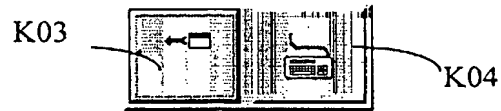


FIG - 3 B

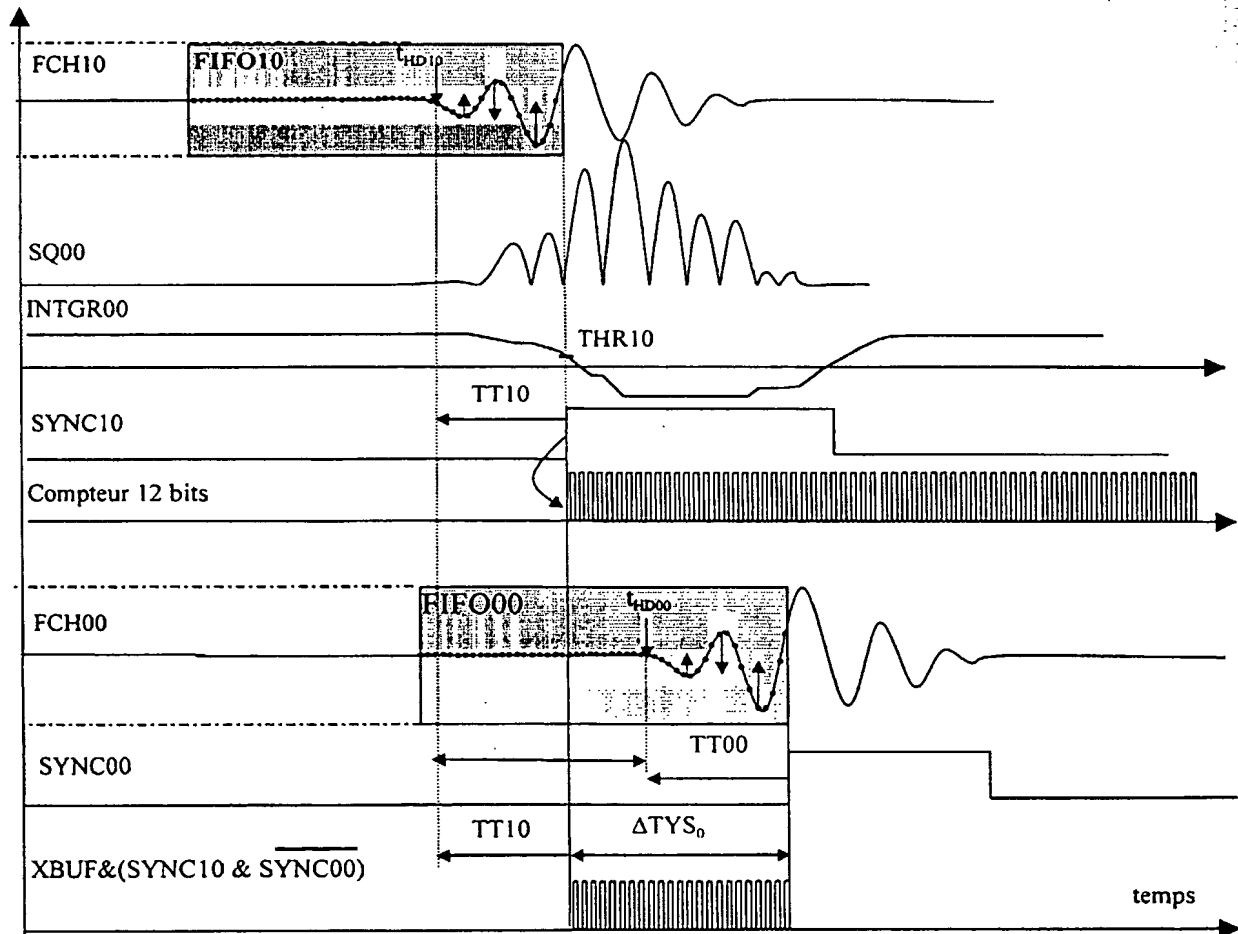


FIG - 4

4/9

4/9

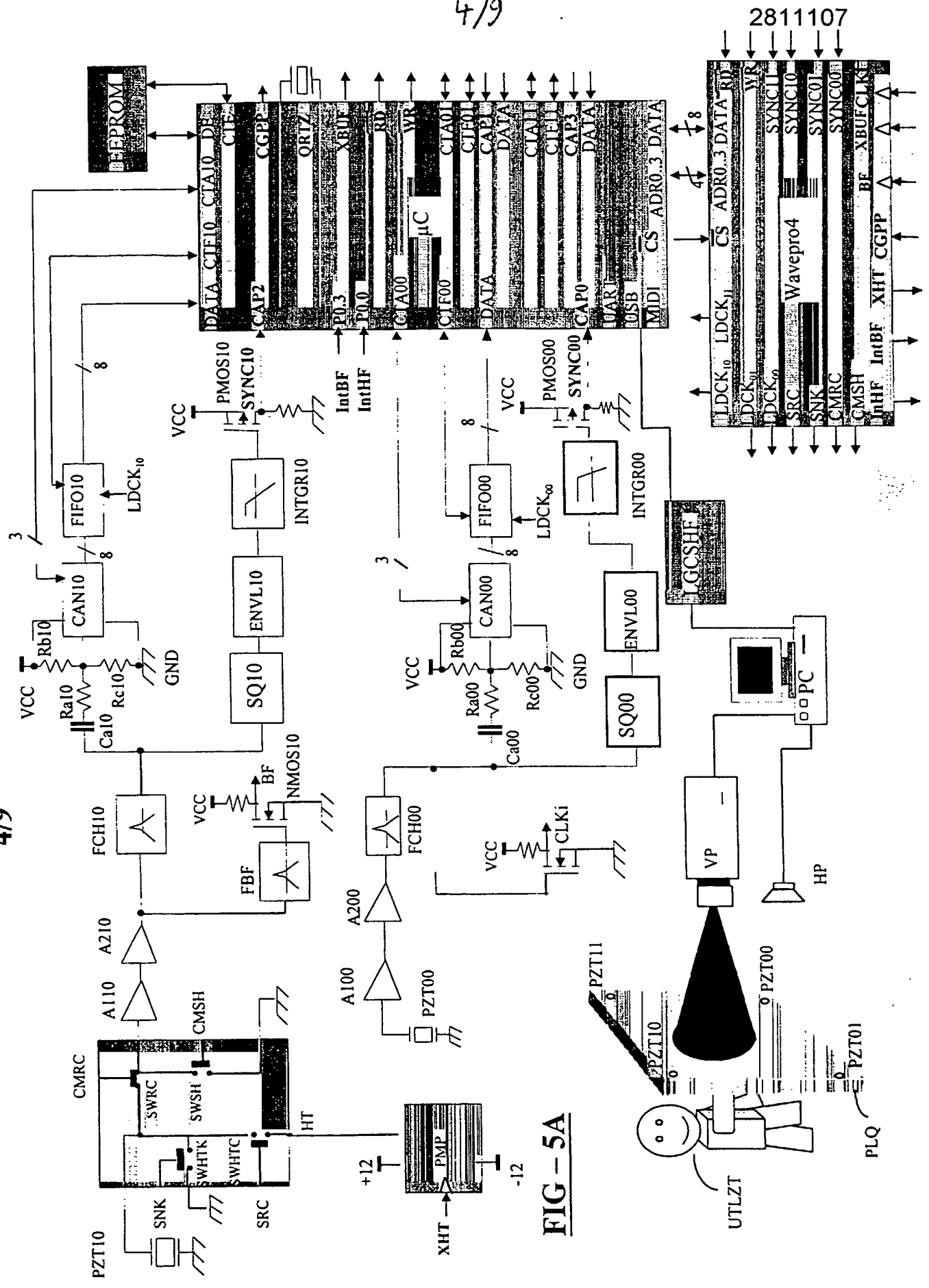
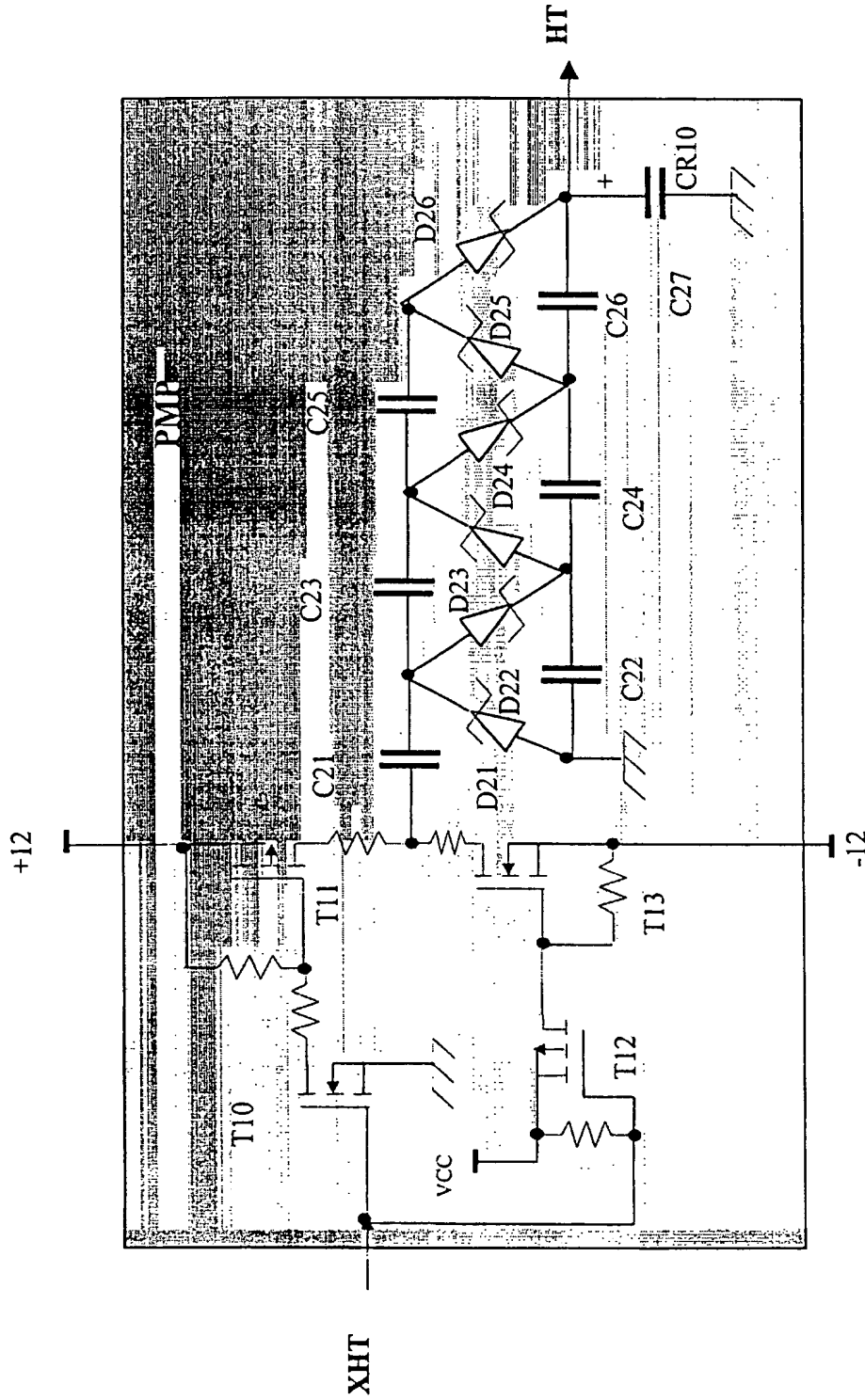


FIG - 5A



**FIG - 5B**

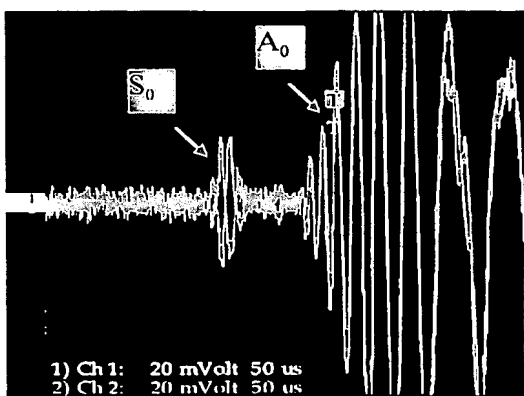
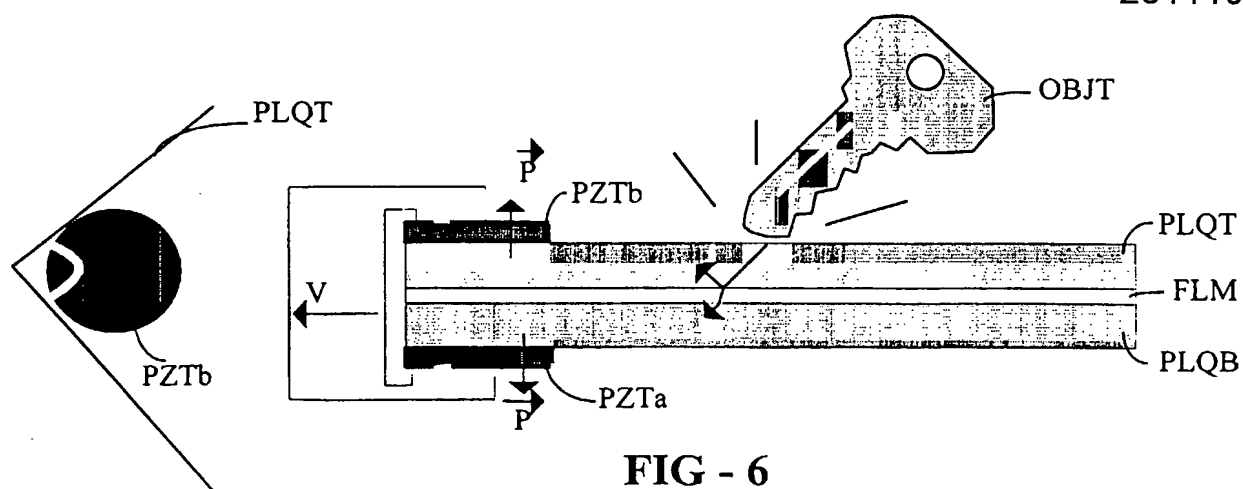


FIG - 7A

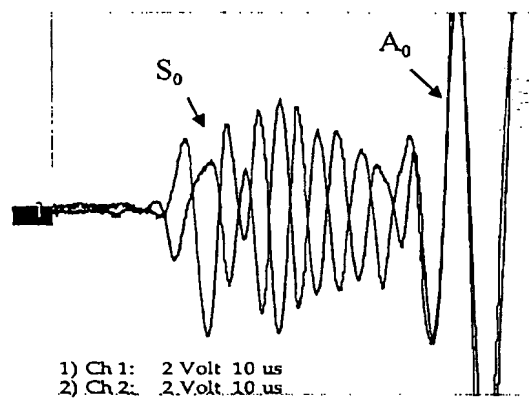


FIG - 7C

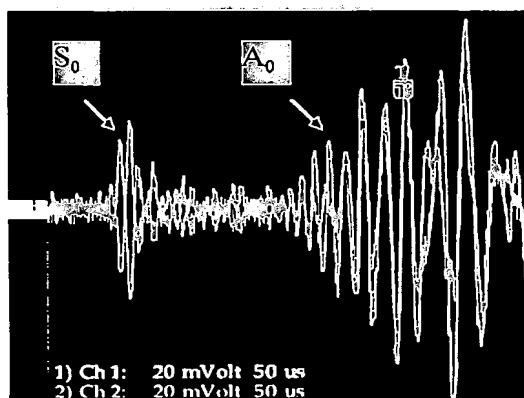


FIG - 7B

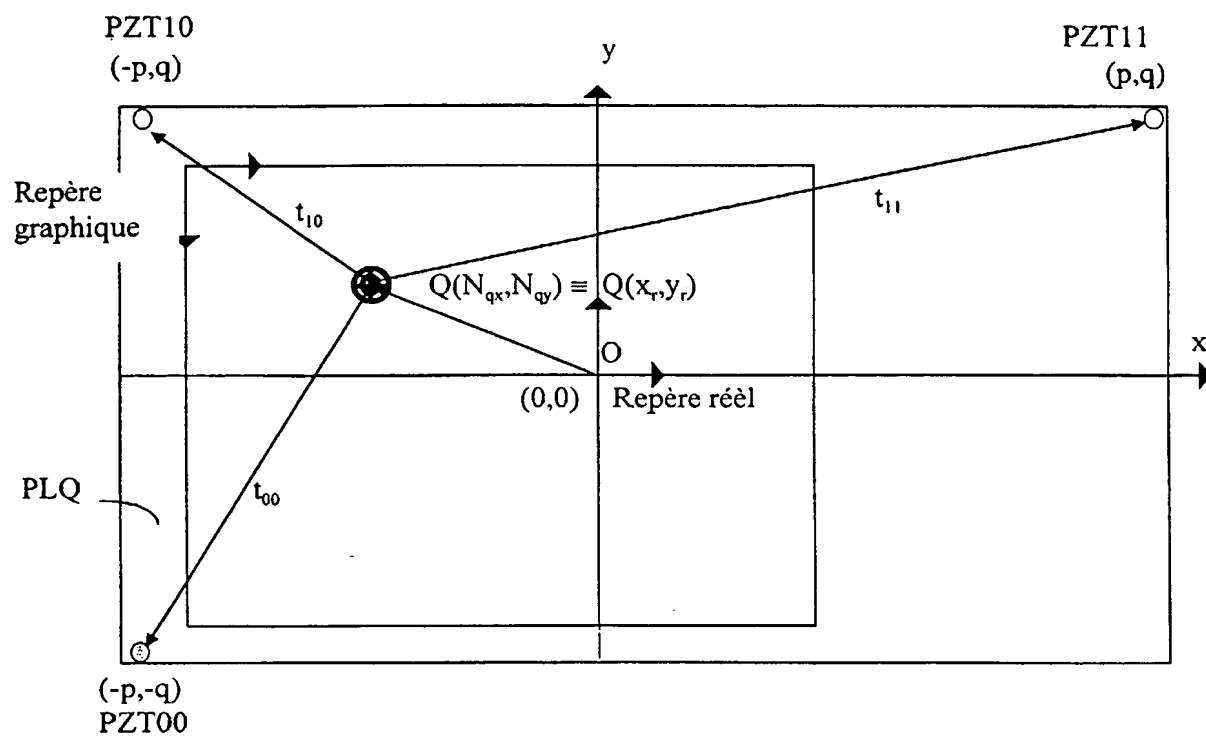


FIG - 8

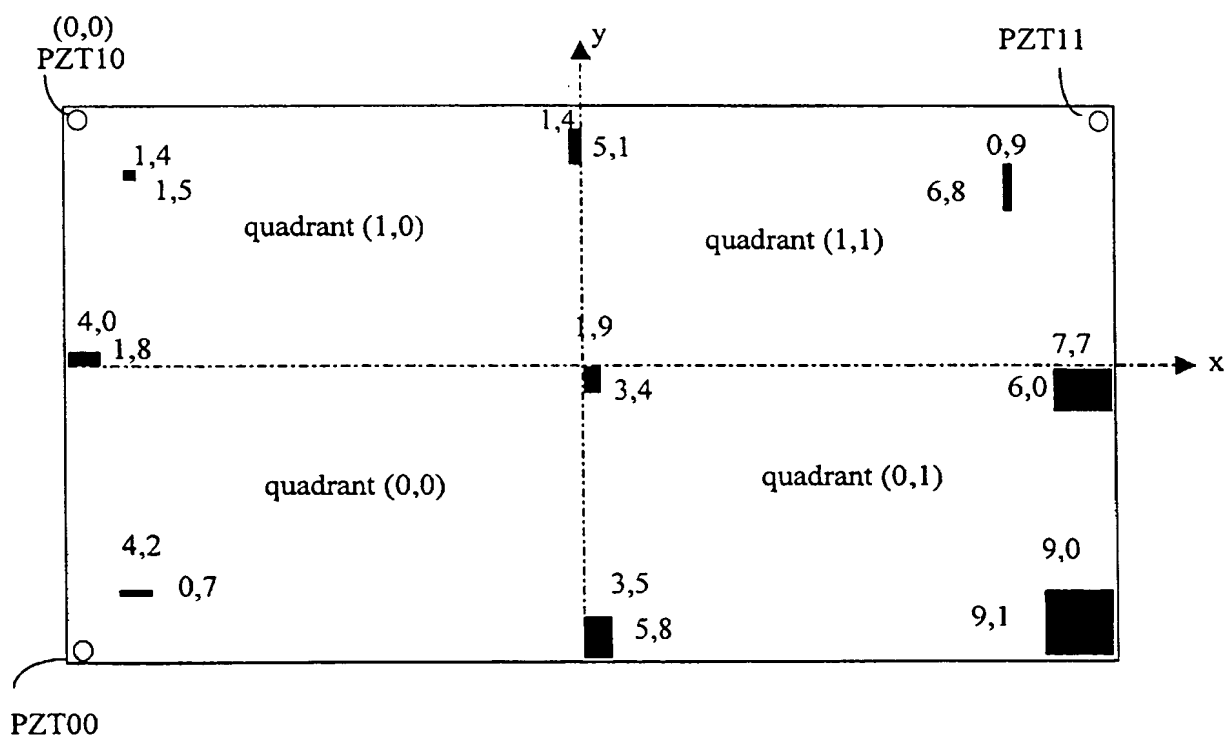
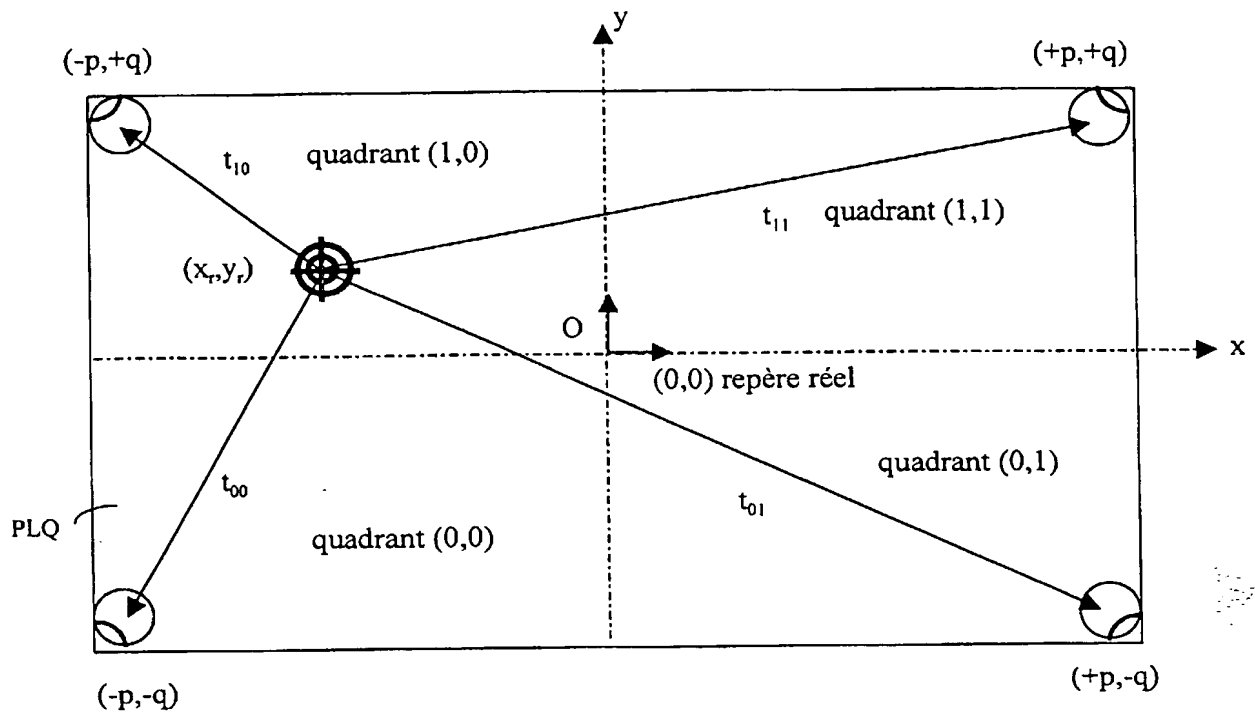


FIG - 9

**FIG - 10**



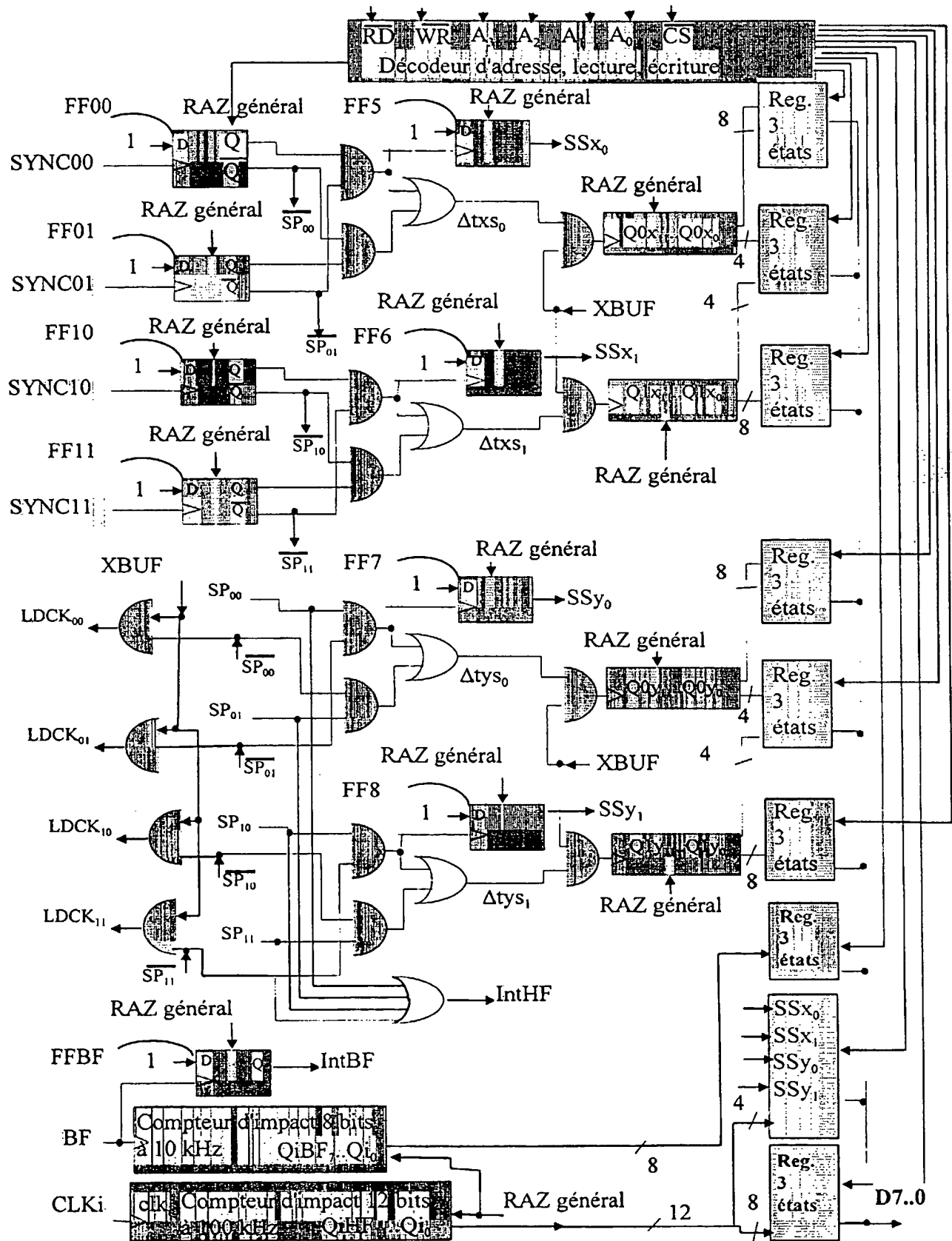


FIG - 11

